

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería de la Energía

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL CAMBIO DE METODOLOGÍA  
CON PARÁMETROS ALFA EN EL CÁLCULO DE FALLOS DE  
CAUSA COMÚN PARA UNA CENTRAL NUCLEAR**



**Memoria i Anexos**

**Autor:** Marta Medina i Garcia  
**Director:** Guillem Cortés Rossell  
**Convocatòria:** Junio 2019



## Resumen

El proyecto final de grado Análisis de sensibilidad del cambio de metodología con parámetros Alfa en el cálculo de fallos de causa común para una Central Nuclear se enmarca en un convenio de colaboración entre una central nuclear y el *Departament de Física* de la *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC). Este convenio promueve la investigación y aplicación de los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS) en decisiones basadas en la cuantificación del riesgo asociado al funcionamiento, operación y mantenimiento de una Central Nuclear (CN).

Uno de los aspectos más relevantes de un APS es el análisis de los Fallos de Causa Común (FCC). Es por este motivo que el proyecto consiste en analizar los resultados obtenidos en el cálculo de FCC del APS de Nivel 1 de Sucesos Internos a Potencia mediante la implementación de una nueva metodología. De este modo, se realiza un análisis de sensibilidad al cambio de metodología para el cálculo de los FCC.

Para la realización del trabajo se ha usado el programa *RiskSpectrum*<sup>®</sup>, una herramienta utilizada en más de la mitad de las Centrales Nucleares del mundo para realizar los APS. Para depurar y preparar todos los datos de manera automatizada se ha usado el programa *Excel*.

Los resultados determinan la variación del valor de la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN) para la Central Nuclear. Esta evaluación constituye información actualizada que se proporciona al Comité de la Regla de Mantenimiento de la Central Nuclear y que posteriormente será presentada al Consejo de Seguridad Nuclear Estatal.

## Resum

El projecte final de grau *Análisis de sensibilidad del cambio de metodología con parámetros Alfa en el cálculo de fallos de causa común para una Central Nuclear* s'emmarca en un conveni de col·laboració entre una central nuclear i el Departament de Física de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Aquest conveni promou la investigació i aplicació dels Anàlisis Probabilistes de Seguretat (APS) en decisions basades en la quantificació del risc associat al funcionament, operació i manteniment d'una Central Nuclear (CN).

Uns dels aspectes més rellevants d'un APS és l'anàlisi dels *Fallos de Causa Común* (FCC). És per aquest motiu que el projecte consisteix en analitzar els resultats obtinguts en el càlcul de FCC del APS de Nivell 1 de *Sucesos Internos a Potencia* mitjançant la implementació d'una nova metodologia. D'aquesta manera, es realitza una anàlisi de sensibilitat al canvi de metodologia per al càlcul dels FCC.

Per a la realització del treball s'ha utilitzat el programa *RiskSpectrum*<sup>®</sup>, una eina utilitzada en més de la meitat de les Centrals Nuclears del món per a la realització dels APS. Per a depurar i preparar totes les dades de manera automatitzada s'ha utilitzat el programa *Excel*.

Els resultats determinen la variació del valor de la *Frecuencia de Daño al Núcleo* (FDN) per a la Central Nuclear. Aquesta avaluació constitueix informació actualitzada que es proporciona al *Comité de la Regla de Mantenimiento* de la Central Nuclear y que posteriorment serà presentada al *Consejo de Seguridad Nuclear* Estatal.

## Abstract

The final degree project *Análisis de sensibilidad del cambio de metodología con parámetros Alfa en el cálculo de fallos de causa común para una Central Nuclear* is part of a collaboration agreement between a Nuclear Power Plant and the *Departament de Física* of the *Universitat Politècnica de Catalunya* (UPC). This agreement promotes the investigation and the application of the Probabilistic Safety Assessment (PSA) in decisions based on the quantification of the risk associated with the operation and maintenance of a Nuclear Power Plant.

One of the most relevant aspects of an PSA is the Analysis of Common Cause Failures (FCC). It is for this reason that the project consists of analyzing the results obtained in the calculation of FCC of the APR of Level 1 of *Sucesos Internos a Potencia* through the implementation of a new methodology. In this way, a sensitivity analysis to the change of methodology for the calculation of the FCC is carried out.

To carry out the work, the *RiskSpectrum*® program was used. This is a tool used in more than a half of the Nuclear Power Plants in the world to carry out the PSA. To prepare all data, the Excel program has been used.

The results determine the variation in the value of the *Frecuencia de Daño al Núcleo* (FDN) for the Nuclear Power Plant. This assessment constitutes updated information that is provided to the *Comité de la Regla de Mantenimiento* of the Nuclear Power Plant and that will later be presented to the *Consejo de Seguridad Nuclear* of the State.



## Agradecimientos

A Guillem Cortés, por ofrecerme la oportunidad de realizar este proyecto y proporcionarme los medios, herramientas y la información necesarios para poder llevarlo a cabo.

A José Miguel García, por su seguimiento desde la central y el tiempo dedicado a este proyecto en largas reuniones, en las que trabajando codo con codo se han podido solucionar los inconvenientes que iban surgiendo a lo largo del proyecto.

A José Arenas, por guiarme a lo largo de estos meses en cada paso del proyecto desde Madrid. Su paciencia y su dedicación durante largas horas de conversaciones han sido indispensables para poder realizar este trabajo.

A mi familia, amigos y compañeros de departamento, por su paciencia, por los ánimos y por amenizarme estos meses de trabajo.







## Glosario

AC	<i>Alternating Current (Corriente Alterna)</i>
AEC	<i>Atomic Energy Commission (Comisión de Energía Atómica)</i>
AF	<i>Árbol de Fallos</i>
AFW	<i>Auxiliary Feedwater (Agua de Alimentación Auxiliar)</i>
APR	<i>Análisis Probabilista de Riesgo</i>
APS	<i>Análisis Probabilista de Seguridad</i>
AS	<i>Árbol de Sucesos</i>
BOE	<i>Boletín Oficial del Estado</i>
CCP	<i>Centrifugal Charge Pumps (Bombas de Carga Centrífuga)</i>
CN	<i>Central Nuclear</i>
CSN	<i>Consejo de Seguridad Nuclear</i>
CSS	<i>Containment Spray System (Sistema de Rociado de la Contención)</i>
DC	<i>Direct Current (Corriente Continua)</i>
ECSS	<i>Emergency Core Cooling System (Sistema de Emergencia de Refrigeración del Núcleo)</i>
EDG	<i>Emergency Diesel Generator (Generador Diésel de Emergencia)</i>
EFDN	<i>Ecuación de la Función de Daño al Núcleo</i>
EPRI	<i>Electric Power Research Institute (Instituto de Investigación de Energía Eléctrica)</i>
ETF	<i>Especificación Técnica de Funcionamiento</i>
FCC	<i>Fallo de Causa Común</i>
FDN	<i>Frecuencia de Daño al Núcleo</i>
Fo	<i>Frecuencia de Ocurrencia</i>
FV	<i>Fussel-Vesely</i>
HPI	<i>High Pressure Injection (Inyección de Alta Presión)</i>
IS	<i>Instrucción de Seguridad</i>
ISS	<i>Safety Injection System (Sistema de Inyección de Seguridad)</i>
IT	<i>Instrucción de Trabajo</i>
LOCA	<i>Loss of Coolant Accident (Pérdida Accidental de Refrigerante)</i>
MCS	<i>Minimal Cut Sets (Conjunto Mínimo de Fallos)</i>
MLG	<i>Múltiples Letras Griegas</i>
MOV	<i>Motor Operated Valves (Válvulas Motorizadas)</i>
MSIV	<i>Main Steam Isolation Valves (Válvulas de Alivio del Vapor Principal)</i>
N1SIP	<i>Nivel 1 de Sucesos Internos a Potencia</i>
NRC	<i>Nuclear Regulatory Commission (Comisión de Regulación Nuclear)</i>
NUREG	<i>Nuclear Regulatory Guide (Guía de Regulación Nuclear)</i>
PCDN	<i>Probabilidad Condicionada de Daño al Núcleo</i>
PORV	<i>Power Operated Relief Valves (Válvulas de Alivio Motorizadas)</i>
PSA	<i>Probabilistic Safety Assessment (Análisis Probabilista de Seguridad)</i>
PSE	<i>Pérdida de Suministro Exterior</i>
PWR	<i>Pressurized Water Reactor (Reactor de Agua a Presión)</i>
RCS	<i>Reactor Coolant System (Sistema de Refrigeración del Reactor)</i>
RHR	<i>Residual Heat Removal (Eliminación del Calor Residual)</i>

RSS	<i>Reactor Safety Study (Estudio de Seguridad del Reactor)</i>
SB	<i>Suceso Básico</i>
SI	<i>Security Injection (Inyección de Seguridad)</i>
SI	<i>Sucesos Iniciadores</i>
TAE	<i>Transformador Auxiliar Exterior</i>
TAR	<i>Transformador Auxiliar de Reserva</i>
TAU	<i>Transformador Auxiliar de la Unidad</i>
TM	<i>Tiempo de Misión</i>
TMI	<i>Three Mile Island</i>
UV	<i>Undervoltage (Bajo Voltaje)</i>

## Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUM</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>VII</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos del trabajo.....	1
1.2. Alcance del trabajo .....	1
<b>2. ANÁLISIS PROBABILISTA DE SEGURIDAD</b>	<b>3</b>
2.1. Introducción al APS .....	3
2.2. Aplicación del APS a Centrales Nucleares .....	4
2.3. Alcance del APS .....	6
2.3.1. Sucesos Iniciadores.....	7
2.3.2. Modos de operación .....	7
2.3.3. Niveles del APS .....	7
2.4. Metodología de un APS de Nivel 1 .....	8
2.4.1. Árboles de Sucesos .....	8
2.4.2. Árboles de Fallos.....	9
2.5. Análisis de Datos .....	11
2.5.1. Frecuencia de Sucesos Iniciadores.....	12
2.5.2. Sucesos Básicos .....	12
<b>3. INTRODUCCIÓN A LOS FALLOS DE CAUSA COMÚN</b>	<b>16</b>
3.1. Definición y clasificación de los FCC .....	17
3.1.1. Dependencia Intrínseca.....	17
3.1.2. Dependencia Extrínseca .....	18
3.2. Tratamiento de los FCC.....	20
<b>4. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LOS FCC DE LA CN</b>	<b>22</b>
4.1. Tratamiento de FCC en modelos de sistemas .....	22

<b>5.</b>	<b>METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE LOS VALORES NUMÉRICOS DE LOS SB DE FCC MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS MLG</b>	<b>25</b>
5.1.	Fuentes para la obtención de datos.....	25
5.2.	Sucesos de fallo de causa común de grupos de dos componentes .....	25
5.2.1.	Cuando no se dispone de información.....	25
5.2.2.	Cuando se dispone de información .....	26
5.3.	Sucesos de FCC de grupos de más de dos componentes .....	28
5.3.1.	Cuando se utilice información existente en el EPRI TR-100382.....	28
5.3.2.	Cuando no se dispone de información en el EPRI TR-100382 .....	30
5.4.	Modos de fallo y modelos de indisponibilidad .....	32
5.5.	Análisis de los sucesos básicos de FCC con el software <i>RiskSpectrum</i> ®.....	32
5.6.	Resultados obtenidos con el método de las MLG .....	33
<b>6.</b>	<b>METODOLOGÍA DE OBTENCIÓN DE LOS VALORES NUMÉRICOS DE LOS SB DE FCC MEDIANTE EL MÉTODO DEL FACTOR ALFA</b>	<b>36</b>
6.1.	Fuentes para la obtención de datos.....	36
6.1.1.	Introducción de los parámetros Alfa en el software <i>RiskSpectrum</i> ®.....	37
6.2.	Creación de los Grupos de FCC en <i>RiskSpectrum</i> ®.....	37
6.2.1.	Sucesos Especiales de grupos de FCC en <i>RiskSpectrum</i> ®.....	39
6.2.2.	Eventos Básicos modelados a Nivel II a potencia.....	40
6.3.	Eventos de Fallo de Causa Común .....	41
6.3.1.	Modelos de indisponibilidad.....	42
6.3.2.	Árboles de Fallos de los FCC .....	45
6.4.	Árboles de Fallos de sistemas e Iniciadores.....	46
6.4.1.	Fallos de causa común al arranque de bombas de 6,25 kV y enfriadores del GJ 48	
6.5.	Resultados obtenidos con el método del Factor Alfa .....	50
<b>7.</b>	<b>VALORES NUMÉRICOS DE LOS SUCESOS BÁSICOS DE FCC MEDIANTE EL MÉTODO DEL FACTOR ALFA</b>	<b>53</b>
7.1.	Sucesos de Fallo de Causa Común en Modelos de Sistemas.....	53
7.1.1.	Sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AB.....	54
7.1.2.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema AL .....	57
7.1.3.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BB.....	62
7.1.4.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BC.....	64
7.1.5.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BJ.....	69
7.1.6.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BK.....	77
7.1.7.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema EG.....	82

7.1.8.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema EJ .....	87
7.1.9.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema GJ .....	91
7.1.10.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KJ .....	99
7.1.11.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema PB .....	109
7.1.12.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema PK .....	112
7.1.13.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema QV .....	113
7.1.14.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema SM .....	115
7.1.15.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KA .....	116
7.1.16.	Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KZ .....	119
7.2.	Resultados obtenidos .....	122
<b>8.</b>	<b>COMPARATIVA ENTRE LOS VALORES DE PROBABILIDAD DE LOS SB DE FCC DISPONIBLES Y LOS NUEVOS CALCULADOS .....</b>	<b>130</b>
<b>9.</b>	<b>ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>137</b>
9.1.	Análisis de los aspectos ambientales y su impacto .....	137
9.2.	Conclusiones del estudio .....	139
	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>141</b>
	<b>PRESUPUESTO .....</b>	<b>143</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>145</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>148</b>
A1.	Tarea de cuantificación .....	148
A2.	Análisis de Sensibilidad de Resultados .....	149
A.2.1.	Conjuntos Mínimos de Fallo de la EFDN en el modelo de las MLG .....	149
A.2.2.	Contribución a la FDN de los SI en el modelo de las MLG .....	153
A.2.3.	Conjuntos Mínimos de Fallo de la EFDN en el modelo del Factor Alfa .....	154
A.2.4.	Contribución a la FDN de los SI en el modelo del Factor Alfa .....	157
A.3.	Análisis de Importancia de los Resultados .....	158



# 1. Introducción

El Análisis Probabilista de Seguridad (APS) se ha convertido en una herramienta esencial en el ámbito industrial para poder cuantificar el riesgo de una instalación. En el ámbito nuclear, esta herramienta permite cuantificar el riesgo asociado a una central nuclear y por este motivo, cobra una gran importancia dentro del campo de la Seguridad Nuclear. Su metodología es ya de uso obligatorio en todas las centrales nucleares españolas, según la regulación estipulada por el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) en la Instrucción de Seguridad (IS) número 25 publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) en 24 de junio de 2010. Debido a su relativa novedad y a sus características, el APS requiere de una actualización periódica basada en la experiencia operativa de las centrales nucleares.

## 1.1. Objetivos del trabajo

Con la emisión de la Edición 7A del APS de Nivel 1 de Sucesos Internos a Potencia (N1SIP) de septiembre de 2017, el Consejo de Seguridad Nuclear acordó con la central nuclear revisar y actualizar en caso necesario, las conclusiones relativas al análisis de Fallos de Causa Común (FCC) mediante la implementación de una nueva metodología de cálculo conocida como el método del Factor Alfa.

El objetivo de este trabajo consiste en determinar si mediante el cambio de metodología con parámetros Alfa, frente a los parámetros de Múltiples Letras Griegas (MLG) que se utilizan actualmente en la Planta, se consigue una variación significativa del valor de la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN), de modo que se determine si esta nueva metodología resulta beneficiosa para la seguridad operacional de la Central Nuclear.

## 1.2. Alcance del trabajo

Con este propósito, el alcance del presente informe incluye las siguientes tareas que se desarrollan a lo largo del proyecto:

- Recopilación de los potenciales fallos de causa común identificados en la Edición 7A del APS de N1SIP.
- Identificación de los FCC y determinación de su función dentro de los diferentes modelos de sistemas.
- Recopilación de los parámetros Alfa para los diferentes sucesos básicos de FCC.
- Descripción de la metodología utilizada para la obtención de los valores numéricos de los distintos Grupos de FCC.
- Obtención del valor numérico de los sucesos básicos de FCC que aparecen en los modelos de sistemas.

- Obtención del valor numérico de la FDN obtenido mediante la simulación de los datos calculados en el software *RiskSpectrum*®.
- Análisis comparativo entre la nueva metodología empleada en el APS y la metodología de las MLG utilizada actualmente por la CN.

La principal motivación del proyecto se centra en la repercusión que tiene el uso de distintas metodologías para un mismo fin. Además, se trata de un proyecto realizado con datos reales pertenecientes a una de las centrales nucleares del país, para la cual se ha desarrollado dicho proyecto. Esta evaluación constituye información actualizada que se debe proporcionar al Consejo de Seguridad Nuclear Estatal.



## 2. Análisis Probabilista de Seguridad

El capítulo 2 presenta el Análisis Probabilista de Seguridad, metodología que se utiliza en la evaluación de riesgo asociado a un sistema complejo, tal como una central nuclear. En este informe se hace uso del APS para realizar el análisis de sensibilidad del cambio de metodología en el cálculo de fallos de causa común para una central nuclear.

### 2.1. Introducción al APS

Los Análisis Probabilistas de Seguridad (APS), también conocidos como Análisis Probabilistas de Riesgos (APR), son técnicas de análisis establecidas para identificar las secuencias de accidente dominantes específicas de una planta industrial y estimar su frecuencia de ocurrencia.

Hasta la fecha, los Análisis Probabilistas de Seguridad han sido utilizados en más de 200 Plantas Nucleares alrededor del mundo, como un proceso de análisis ingenieril que permite modelar la Planta Nuclear como un sistema y aportar información tanto cualitativa como cuantitativa. Sin embargo, estas técnicas de análisis provienen de tecnologías como la aeronáutica y aeroespacial y no fue hasta los años setenta cuando fueron adaptadas a los estudios de la seguridad de las centrales nucleares, dentro de un proyecto de investigación de la *Atomic Energy Commission* (AEC) de EE. UU. denominado *Reactor Safety Study* (RSS). Dicho proyecto evaluó la probabilidad de una serie de secuencias de accidentes que podrían conducir a la fusión del combustible en el reactor, mediante la introducción de la técnica del árbol de fallos vinculado. Además, vino acompañado de un amplio presupuesto para investigación y desarrollo que permitió perfeccionar conocimientos y tecnologías sobre accidentes más allá de la base del diseño. La organización *United States Nuclear Regulatory Commission* (U.S.NRC), sucesora de la AEC, culminó dicho proyecto y lo publicó en el año 1975. Desde su publicación, el RSS fue la referencia metodológica de este tipo de análisis de seguridad, aunque la mayor parte de sus aspectos se ha ido perfeccionando con el tiempo.

Este tipo de estudios proporcionan una evaluación realista de los riesgos asociados con la operación de centrales nucleares comerciales y fueron valorados muy positivamente alrededor del mundo. Sin embargo, fueron considerados como una forma adicional de análisis de situaciones extremas y más allá de la base del diseño, decidiéndose que se debía seguir una filosofía determinista en lo que respecta a la regulación y al control de la seguridad de las instalaciones, es decir, una filosofía basada en la postulación de accidentes máximos previsibles que sirvieran como base de diseño de los sistemas de seguridad.

Cuatro años después de la publicación del RSS tuvo lugar en EE. UU. un accidente en la central nuclear de *Three Mile Island* (TMI), suceso que puso de manifiesto la necesidad de complementar la tradicional

aproximación determinista con aproximaciones que tuvieran en cuenta el concepto de probabilidad de accidentes más explícitamente. Dicho suceso se trataba de una secuencia de posible accidente detectada y analizada en el RSS y es por ello que la NRC decidió, a partir de ese desagradable hecho, intensificar sus programas de investigación en el APS. En ese mismo instante, se comenzó a discutir en EE. UU. sobre la necesidad de realizar este tipo de estudios a todas las instalaciones nucleares.

Siguiendo los pasos de EE. UU. se empezaron a realizar estudios con las técnicas del RSS a centrales alemanas, británicas, nórdicas, hasta llegar a la actualidad en que en todos los países del mundo con actividad nuclear existe un programa de realización de análisis de riesgos. En el caso de España, que ya en 1983 había comenzado sus actividades al respecto por medio del análisis pionero llevado a cabo por la central nuclear de Santa María de Garoña, se decidió por parte del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) en 1986, poco antes del accidente de Chernobyl, que todas las centrales nucleares debían realizar un estudio de este tipo, de acuerdo con un Programa Integrado que se editó ese mismo año.

Un Análisis Probabilista de Seguridad comprende, por lo tanto, un enorme modelo de la planta nuclear en el que todos los sistemas relevantes para la seguridad, que involucran a miles de componentes, se modelan en términos de su confiabilidad y están lógicamente vinculados entre sí para determinar la probabilidad general de accidentes de daño al núcleo.

## 2.2. Aplicación del APS a Centrales Nucleares

En la industria nuclear, el APS se requiere para cumplir los siguientes objetivos principales:

- Proporcionar una estimación de la frecuencia de daño al núcleo (FDN) e identificar las principales secuencias de accidentes.
- Identificar aquellos componentes o sistemas de la planta cuya indisponibilidad contribuye significativamente a la frecuencia de daño al núcleo.
- Identificar cualquier dependencia funcional, espacial y humana inducida dentro de la configuración de la planta que contribuye significativamente a la frecuencia de daño al núcleo.
- Proporcionar un modelo computarizado de la planta nuclear.
- Clasificar las secuencias de accidente y componentes acorde a su importancia relativa.
- Evaluar la experiencia operativa de la planta.
- Evaluar las especificaciones técnicas de la planta y limitar la condición de operación.
- Dar soporte a decisiones en *backfitting* y modificaciones de diseño.

El APS se enfoca, en este caso, a estimar el riesgo de la planta nuclear. Para ello, el riesgo se define como el producto de la probabilidad de accidentes por las consecuencias que de ellos se derivarían. En esta definición se reconoce de forma implícita que el riesgo de la operación de las centrales nucleares proviene de forma fundamental de posibles accidentes y no de la propia operación normal de la planta, lo que está comúnmente aceptado.

En el ámbito de la seguridad nuclear, y en el de la regulación de la misma, las consecuencias se definen como el daño al público, externamente a la central. Este daño incluye el radiológico, como el de muerte inmediata o por cáncer latente y el de enfermedades, y el económico a las propiedades externas a la central. Esta definición tradicional de daño al público se deriva de las funciones asignadas a la NRC, organismo regulador nacional más importante del mundo y que, de algún modo, marca muchas de las pautas en cuanto a la reglamentación de la seguridad nuclear.

Así pues, según la definición, el primer paso para la estimación del riesgo de una instalación es identificar los posibles accidentes, estimando sus probabilidades de ocurrencia, que pudieran originar los daños que se desea prevenir y cuantificando también las consecuencias en función de la repercusión que estas pudieran tener.

La probabilidad de ocurrencia de un accidente se puede entender como una función de la probabilidad de un suceso inicial y los sucesos consecutivos que se derivan de él. De este modo, cuanto más larga sea la secuencia que lleva a un accidente, más compleja será la determinación de la probabilidad de ocurrencia, ya que es necesario reconocer cada suceso donde aparece para obtener el término numérico de riesgo.

De este modo, la ocurrencia de un riesgo podría generar diferentes consecuencias, cada una de ellas asociadas a su probabilidad. Para considerar que escenarios de accidente diferentes podrían conllevar el mismo riesgo medio, se representa el riesgo como un gráfico donde sus ejes son la probabilidad de ocurrencia versus la magnitud de las consecuencias, conocido como la Curva de *Farmer*, donde se pueden establecer diferentes escalas de consecuencias.

El valor cuantitativo del riesgo puede ser tan pequeño como sea preciso, aun así, ninguna medida para prevenir los accidentes puede suponer un riesgo cero. En el caso de la seguridad nuclear, el riesgo asociado a la liberación de residuos de la fisión puede ser reducido considerablemente mediante el aumento del número de sistemas de seguridad de la planta.

Los análisis de riesgo se desarrollan principalmente para determinar la necesidad de acciones preventivas, establecer criterios a la hora de realizar medidas de control de riesgo y evaluar las ventajas de estas acciones preventivas y de control.

La metodología APS emerge en una etapa tardía del licenciamiento de la mayoría de los reactores, no siendo por lo tanto un requisito regulador de origen. Este hecho supuso un reto para su posible incorporación a la normativa y a las prácticas reguladoras, ya que, al plantear un enfoque sustancialmente diferente, lleva a conclusiones divergentes respecto a los métodos de evaluación existentes. Los resultados del APS pueden mostrar como inadecuadas, condiciones que antes se

consideraban aceptables, pero también pueden mostrar como aceptables situaciones que no lo son bajo la normativa actual.

Se puede hablar de tres etapas de evolución en el uso del APS, las cuales hacen referencia a tres alcances cada vez más ambiciosos:

- Inicial: uso correctivo. Los resultados del APS se emplean únicamente para corregir puntos delicados en el diseño y la operación.
- Intermedia: uso complementario. Los modelos y resultados del APS se emplean de manera paralela a las prácticas tradicionales para implantar nuevas medidas que complementan a las existentes.
- Avanzada: uso integral. Los modelos y resultados del APS se emplean de manera conjunta con las prácticas tradicionales para mejorar la eficiencia de medidas existentes en la normativa anterior.

## 2.3. Alcance del APS

El alcance de un APS se caracteriza por los siguientes parámetros:

- Los sucesos iniciadores analizados.
- Los modos de operación de la planta analizados.
- El nivel de APS analizado.

Un APS se considera de alcance total si abarca de forma completa todos los aspectos de todos los parámetros definidos en la lista anterior. Para tener una estimación del riesgo de una central no es necesario contar con un APS de alcance total, pese a la posibilidad de realizarse, tal y como se extrae de los requisitos expuestos en la instrucción de Seguridad IS-25 sobre “Criterios y requisitos sobre la realización de los APS y sus aplicaciones a las centrales nucleares” por el CSN (Ref. 1).

Es habitual y necesaria la realización de modelos de APS diferentes para cada uno de los diversos alcances a tratar. Se realizan modelos APS diferentes para los diversos alcances posibles debido a que, para cada alcance, las hipótesis de modelización de escenarios y sistemas suelen ser diferentes. Como resultado, un APS de alcance total es un conglomerado de modelos APS individuales, cada uno con un alcance diferente.

A continuación, se detallan las características de cada uno de los diferentes aspectos del alcance de un APS.

### **2.3.1. Sucesos Iniciadores**

Cuando se habla de suceso iniciador se hace referencia a un suceso que perturba el funcionamiento normal de la central, dando lugar a una desviación de ciertos parámetros (presión, temperatura...) a partir de la cual puede desarrollarse una secuencia accidental. Los sucesos iniciadores pueden ser internos o externos de dos tipos.

- Suceso interno: Sucesos de origen interno a la instalación, capaces de afectar a la seguridad de la planta, debidos a fallos de sistemas, estructuras o componentes o errores humanos.
- Suceso externo (en el marco de los APS): Sucesos de origen interno a la instalación, capaces de afectar a la seguridad de la planta, tales como los incendios y las inundaciones internas.
- Otros sucesos externos: Sucesos de origen externo a la instalación, bien sean naturales o debido a actividades industriales o humanas, capaces de provocar efectos sobre el riesgo de la central nuclear, tales como los terremotos, las condiciones meteorológicas extremas, las explosiones o las caídas de aviones.

### **2.3.2. Modos de operación**

El funcionamiento de la planta se divide en diferentes modos de operación: Potencia, baja Potencia, Parada, Recarga y Arranque. En el APS, el modo de operación a Potencia se analiza de forma separada de los otros modos de operación mencionados, debido a que la disponibilidad de sistemas, la progresión de secuencias accidentales y los sucesos iniciadores internos son diferentes. En consecuencia, existen dos posibles alcances para un APS.

- A potencia.
- Otros modos de operación distintos de la operación a potencia.

### **2.3.3. Niveles del APS**

Las evaluaciones de riesgo pueden variar considerablemente en su alcance según el tiempo disponible y los recursos, así como el propósito de estudio. De este modo, se definen tres niveles de riesgo en un APS, cada uno relacionado con una(s) barrera(s) o nivel(es) de protección de la defensa en profundidad. A los niveles se les da el nombre de Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3, y para cada uno se estima una figura de riesgo diferente. Los distintos niveles se analizan de forma secuencial.

#### **2.3.3.1. Nivel 1 APS**

Este primer nivel hace referencia a la evaluación de los fallos de la planta que conduce a la determinación de la frecuencia de daño al núcleo. Proporciona información sobre los puntos débiles del diseño y sobre las posibles formas de prevenir el daño al núcleo, que en la mayoría de los casos es

el precursor de accidentes que conducen a importantes emisiones radiactivas con posibles consecuencias para la salud y el medio ambiente.

#### **2.3.3.2. Nivel 2 APS**

El segundo nivel de APS aborda el sistema de contención y las respuestas fenomenológicas, lo que lleva, junto con los resultados del Nivel 1, a la determinación de las frecuencias de liberación de la contención. Proporciona información adicional sobre la importancia relativa de las secuencias de accidentes que conducen a daños en el núcleo, en términos de la gravedad de las liberaciones radiactivas que podrían causar y una comprensión de las debilidades, así como también las formas de mejorar la mitigación y la gestión de los accidentes que suponen un daño al núcleo.

#### **2.3.3.3. Nivel 3 APS**

El tercer nivel APS aborda las consecuencias externas, lo que lleva, junto con los resultados del análisis de Nivel 2, a estimaciones de lesiones públicas. Brinda información sobre la importancia relativa de las medidas de prevención y mitigación de accidentes expresadas en términos de las consecuencias adversas para la salud del público y la contaminación de las disposiciones sobre la tierra, el aire, el agua y los alimentos. Además, proporciona información sobre la efectividad relativa de los aspectos de la gestión de accidentes relacionados con la planificación de la respuesta de emergencia.

### **2.4. Metodología de un APS de Nivel 1**

Los modelos de APS están contruidos a partir de expresiones lógicas Booleanas y pueden expresarse mediante la unión de Árboles de Sucesos (AS) y Árboles de Fallos (AF).

#### **2.4.1. Árboles de Sucesos**

Una de las primeras tareas de un APS de Nivel 1 para una central nuclear es la de identificar los sucesos iniciadores que causan fallos en alguna parte de la planta y que, si no son interceptados por los sistemas de seguridad, podrían conducir a un accidente con deterioro del núcleo del reactor. Para modos de operación a potencia, estos sucesos iniciadores son los que originan el disparo del reactor, primer sistema de seguridad, por salirse los parámetros de operación de los márgenes de los puntos de tarado de la actuación del sistema de protección del reactor.

Identificando todo suceso que puede originar el disparo del reactor, cuando este está trabajando a potencia, o un empeoramiento de las condiciones de refrigeración o de reactividad del núcleo, cuando el reactor está parado, se identifican las funciones de seguridad necesarias para llevar el reactor a una

situación segura y estable. De igual modo, se identifican los sistemas o acciones necesarios para llevar a cabo esas funciones.

Las condiciones de contorno de los Análisis de Accidentes efectuados dentro de lo requerido para los Estudios de Seguridad clásicos en centrales nucleares son una primera identificación de las posibles secuencias de sucesos que se pueden dar después de cada SI, según tengan éxito o no cada una de las funciones/sistemas/acciones necesarias. El proceso de identificación de sucesos iniciadores y de las subsiguientes acciones de seguridad conforman los diagramas conocidos como Árboles de Sucesos.

En el Árbol de Sucesos, también llamado Árbol de Eventos, se representan los sucesos iniciadores y las ramificaciones que tienen lugar según tengan éxito o estén indisponibles las subsiguientes funciones/sistemas/acciones.

En los encabezados del Árbol de Sucesos se presentan los distintos sistemas que son capaces de mitigar los efectos del evento iniciador. Así, para cada sistema de mitigación se plantea si este tiene éxito o no a cumplir con su función; el éxito se representa en la rama superior y la falla en la inferior, de tal manera que la suma de las probabilidades de las ramificaciones en cada encabezado sea la unidad. Haciendo este planteamiento para cada encabezado, se hacen fallar los sistemas necesarios para llegar a una condición de daño al núcleo del reactor. De este modo, cada secuencia de accidente se define en el extremo derecho del Árbol de Eventos como la sucesión de éxitos y fallas de sistemas de mitigación que se presentan después del evento iniciador. Al final del proceso de ramificación, cada rama es una secuencia de sucesos que habrá conducido o no a una situación de deterioro del núcleo.

De forma habitual, las ramificaciones en cada nodo son duales, pero también se pueden dar Árboles de Sucesos en los que haya más de dos posibles ramificaciones por nodo. También se puede dar la situación en la que en muchos nodos no haya ramificación. Ello es debido a que hay acciones o sistemas que se necesitan en función de la disponibilidad o indisponibilidad previa de otros. Este tipo de dependencias simplifica notoriamente la construcción de los Árboles de Sucesos.

Al final, para cada ramificación se codifica cada secuencia en función de los encabezados en éxito o fracaso que represente. Es posible que alguna secuencia pueda transferirse a otro Árbol de Sucesos que represente el estado físico de naturaleza distinta que se pueda tener en caso de ocurrencia de indisponibilidades de determinados encabezados.

### **2.4.2. Árboles de Fallos**

La segunda gran tarea, normalmente la de mayor envergadura del Nivel 1 de los APS, hace referencia a los análisis de sistemas. Estos análisis se realizan mediante los denominados Árboles de Fallos.

Como se ha indicado, gran parte de las cabeceras de los Árboles de Sucesos son sistemas que pueden fallar en su función de seguridad, originando que la ramificación en ese encabezado sea descendente en el Árbol de Sucesos. La estimación de la probabilidad de que se produzca este tipo de ramificación, así como la identificación de las combinaciones de sucesos básicos, o de indisponibilidades de componentes, que causarían la indisponibilidad del sistema o suceso no deseado, se realiza mediante los llamados Árboles de Fallos. Estos diagramas permiten identificar las posibles causas básicas, o combinaciones de estas, de un suceso no deseado en cuanto a los componentes del sistema.

Para calcular la probabilidad de ocurrencia de las secuencias de accidentes, es necesario obtener un AF para cada sistema modelado en los encabezados. Estos se construyen por medio de puertas lógicas *AND* y *OR*; en las puertas *AND* el evento desarrollado se presenta cuando ocurren todos los eventos modelados debajo de la puerta, y en las puertas *OR* cuando alguno de ellos ocurre. Los árboles se desarrollan hasta desglosar las fallas en términos de eventos básicos, o combinaciones de estos, para los cuales pueden obtenerse datos de falla significativos. Los eventos básicos utilizados en un APS incluyen:

- Fallo de equipos: consideran los diferentes modos de fallo que puede tener un componente.
- Indisponibilidad: consideran la posibilidad de que el componente esté indisponible por mantenimiento.
- Factores humanos: consideran acciones del personal que puedan intervenir de manera positiva o negativa en el funcionamiento del sistema durante las actividades de la planta.

En el desarrollo de estos modelos lógicos se tiene en cuenta también el análisis de dependencias. Esto es, cuando un mismo componente es compartido por dos o más sistemas, o bien cuando un evento básico puede afectar de algún modo el funcionamiento de otros sistemas, es necesario repetir los eventos involucrados como parte de cada Árbol de Fallos afectado. Normalmente se desarrolla un AF para cada modo de operación de cada sistema considerado en los AS.

Los operadores booleanos se usan para ilustrar como los fallos de los eventos del árbol se pueden combinar para resultar en un fallo del elemento que se encuentra más arriba jerárquicamente. A cada suceso básico se le asigna un modelo de fiabilidad y distribución probabilística de fallo asociada. La probabilidad del evento superior es función de las probabilidades de todos los eventos básicos que, individualmente o en combinación con otros eventos básicos, pueden conducir al evento superior.

Cuando se representa gráficamente de arriba hacia abajo el suceso no deseado, las operaciones lógicas y los sucesos intermedios y básicos, se va construyendo un tipo de diagrama en forma de árbol hacia abajo que se conoce como Árbol de Fallos.

La información que resulta del análisis de los Árboles de Fallos es muy valiosa para entender los sucesos o mecanismos que pueden conducir al fallo global de los sistemas, pudiéndolos ordenar por



probabilidad y, por tanto, pudiendo encontrar cuales son los mecanismos de fallo de cada sistema más probables y los componentes más importantes desde el punto de vista de la seguridad.

Por otra parte, cada secuencia de accidente posible identificada en los AS se analiza con posterioridad mediante la unión de los encabezados, es decir, Árboles de Fallos de estas. Las secuencias más importantes serán las que más contribuyen a la probabilidad de ocurrencia de un accidente con deterioro del núcleo.

Una vez cuantificada la probabilidad de todos los sucesos incluidos en los modelos del APS, es decir, en los Árboles de Sucesos y de Fallos, estas probabilidades se utilizan para cuantificar las probabilidades de las secuencias y la global de la frecuencia de daño al núcleo.

## **2.5. Análisis de Datos**

Una vez definidos los diferentes sucesos que aparecen en los modelos lógicos del APS, es necesario obtener la frecuencia o probabilidad de fallo de cada uno de ellos para poder cuantificar la probabilidad de los conjuntos críticos de fallos y estimar la frecuencia de las secuencias de accidente. Actualmente existen multitud de bases de datos genéricas basadas en datos reales que recogen información de diversas centrales nucleares. Para cada parámetro de probabilidad de fallo se presenta, además de su valor medio, la distribución de probabilidad que caracteriza la incertidumbre del parámetro.

Las bases de datos genéricas deben combinarse con la experiencia concreta de la planta mediante la aproximación bayesiana, aunque esta debe ser consensuada con datos provenientes con la propia experiencia operacional y la experiencia a nivel internacional. En caso de que la propia experiencia de la planta sea escasa, es favorable el uso de datos genéricos. Los datos obtenidos deben actualizarse periódicamente para dar un seguimiento a la evolución de las probabilidades durante la vida de la planta, ya que estas pueden sufrir un incremento a medida que los componentes envejecen o una disminución a medida que se aplican soluciones efectivas a los problemas de confiabilidad.

El objetivo de la tarea del Análisis de Datos es suministrar los datos necesarios para cuantificar el modelo APS. Estos datos requeridos se dividen en dos grupos:

- Frecuencia de Sucesos Iniciadores
- Sucesos Básicos, los cuales se subdividen en:
  - Indisponibilidades por pruebas periódicas y mantenimientos
  - Sucesos Básicos de fallo independiente
  - Errores humanos
  - Sucesos Especiales
  - Sucesos Básicos de Fallo de Causa Común

Los sucesos básicos de Fallo de Causa Común (FCC) son el principal objeto de estudio de este informe, de manera que su análisis se detalla más exhaustivamente en los capítulos posteriores.

### **2.5.1. Frecuencia de Sucesos Iniciadores**

Para Sucesos Iniciadores que se esperan con cierta recurrencia durante la vida útil de la planta, o de reactores similares, es posible hacer estadísticas para obtener la distribución de la frecuencia de ocurrencia entre la población de reactores. Estas distribuciones proporcionan la frecuencia promedio en la industria y además dan una idea de la variación que se puede esperar entre las plantas debida a diferencias en el diseño y operación, así como otros condicionantes. Por tanto, normalmente la frecuencia se determina mediante la experiencia de la propia planta.

En el caso de eventos hipotéticos o de muy rara ocurrencia, se suele acudir a fuentes de datos genéricos para calcular la frecuencia, o bien a una estimación estadística basada en el juicio de expertos, que a su vez se basa en la experiencia en industrias con menor grado de exigencia o en eventos precursores que se hayan presentado en centrales nucleares.

Para sucesos que han ocurrido al menos una vez la frecuencia se calcula teniendo en cuenta el número de sucesos ocurridos y el tiempo de operación de todas las plantas tecnológicamente asimilables.

Para sucesos iniciadores con características especiales de diseño, es decir, aquellos sucesos que dependen del diseño de la propia central, la frecuencia se estima mediante técnicas de árboles de fallos.

### **2.5.2. Sucesos Básicos**

Los Sucesos Básicos son aquellos eventos que contribuyen al suceso de fallo que estudia un Árbol de Fallos y que no requieren de un desarrollo posterior, es decir, representan aquellos fallos más elementales cuya frecuencia o probabilidad sea conocida o pueda estimarse.

#### **2.5.2.1. Indisponibilidades por pruebas periódicas y mantenimientos**

Se entiende por indisponibilidad la probabilidad de que cuando un componente, o un conjunto de ellos, es requerido para llevar a cabo su función, este se encuentre no disponible o inoperable para realizar la función asignada. Las indisponibilidades pueden deberse a una serie de causas que son nombradas a continuación:

- Pruebas Periódicas
- Mantenimientos Preventivos (mantenimientos programados)
- Mantenimientos Correctivos (mantenimientos no programados como reparaciones, modificaciones de diseño, medidas preventivas no programadas, etc.)

Las indisponibilidades por pruebas y mantenimiento, aunque requieren también de un cierto análisis estadístico, ya son directamente obtenibles de la información operacional normal de cada central, pues son actividades normales de la misma, de las que se ha de tener constancia de su frecuencia y duración en los registros de las diferentes partes de la organización de la explotación de las centrales.

#### **2.5.2.2. Sucesos Básicos de Fallo Independiente**

Los Sucesos Básicos de Fallo Independiente están definidos según el tipo de componentes y los modos de fallo que puedan tener. Las definiciones de los modos de fallo primarios son:

- Fallo a la demanda. Se usa para componentes cuya demanda de acción supone un cambio de estado al ser requerido (está parado y se arranca, está abierto y se cierra o viceversa).
- Fallo en operación. Se postula para componentes que deben funcionar correctamente de forma continuada durante un determinado tiempo, denominado Tiempo de Misión (TM). Estos pueden considerarse componentes reparables o no reparables.
- Fallo en espera. Se postula para componentes que no se encuentran en funcionamiento durante la operación normal, pero que deben estar disponibles en caso de ser requeridos. En este caso, se considera que sus fallos no se detectan hasta requerirse su funcionamiento o en la realización de pruebas o mantenimientos.

Este tipo de Sucesos Básicos se cuantifican, en lo referente a su probabilidad de ocurrencia, mediante parámetros estadísticos obtenibles directamente de la experiencia estadística acumulada en los diferentes tipos de componentes y en las diferentes centrales nucleares. Como consecuencia, la acumulación de información estadística y la preparación de sistemas estructurados de recogida de esa información procedente de la operación, es la forma más correcta de preparar la cuantificación de las probabilidades de fallo recogidas en los Árboles de Fallos. Sin embargo, hasta que estos Bancos de Datos no estén suficientemente coordinados para el mayor número posible de centrales, se suele hacer uso de información genérica proveniente de distintas fuentes, como otras industrias u opinión de expertos.

#### **2.5.2.3. Errores Humanos**

Otro grupo de sucesos básicos hace referencia a las probabilidades de errores humanos, los cuales aparecen de forma muy numerosa en los Árboles de Sucesos y de Fallos que constituyen los modelos de los APS. La estimación de esas probabilidades da forma a otra área específica de especialización en los APS: los análisis de fiabilidad humana.

Para realizar este tipo de análisis se han desarrollado una serie de técnicas y modelos, ninguno de los cuales está totalmente validado. Esta área de los APS es una de las más necesitadas de actividades de investigación, desarrollo y validación y está siendo objeto en los últimos años. Concretamente, son dos

los tipos de errores humanos que aparecen y son identificados a lo largo del proceso de realización de un APS.

El primer tipo se refiere a aquellas actividades humanas previas a la declaración de un suceso iniciador, mientras que el segundo hace referencia a actividades o acciones que el ser humano ha de desarrollar con posterioridad a un suceso iniciador. Las técnicas de análisis en ambos casos son totalmente distintas, puesto que, psicológicamente se trata de tareas muy diferentes. Las primeras suelen ser tareas de carácter rutinario del trabajo normal de explotación de la central, tales como pruebas, mantenimientos o calibraciones, mientras que las segundas son tareas anormales o incluso en emergencia, en las que la formación, la tensión, la capacidad de análisis o el tiempo son parámetros, entre otros, fundamentales.

Para el primer tipo de errores humanos hay más técnicas validadas, basadas en técnicas de la Psicología como el análisis de tareas y probabilidades de error en actividades rutinarias provenientes de otras industrias o tipos de actividades, y una mayor experiencia en el uso y la cuantificación de estas.

Para el segundo tipo hay una mayor polémica en cuanto a la validez de las técnicas que se vienen desarrollando. La probabilidad de error en acciones de emergencia depende de otro tipo de actividad psicológica, como es la Psicología Cognitiva o del conocimiento. Así, hay técnicas desarrolladas que cuantifican este tipo de probabilidad en función, sobre todo, del tiempo de que dispone el operador para llevar a cabo el proceso mental de identificar qué es lo que tiene que hacer.

#### **2.5.2.4. Sucesos Básicos de Fallo de Causa Común**

Los Fallos de Causa Común (FCC) se definen como el fallo simultáneo o la indisponibilidad de más de un componente debido a una misma causa que no puede ser modelada de forma explícita. Hasta ahora, este tipo de fallos han estado modelados como sucesos básicos de causa común en los árboles de fallo de los diferentes sistemas, siguiendo la metodología de las Múltiples Letras Griegas (MLG) empleada por la Central Nuclear. Con la nueva metodología que se plantea en este informe, los FCC dejan de tratarse como eventos básicos y se convierten en Grupos de FCC que engloban los correspondientes Sucesos Básicos de Fallo Independiente.

Según cuales sean las causas de los fallos de causa común existen varias clasificaciones. Sin embargo, estas se dividen esencialmente en dos categorías principales:

- Errores o fallos producidos durante el diseño y la construcción de la planta.
- Causas que surgen durante la operación de la central.

En los capítulos quinto y sexto de este informe se explica la metodología utilizada por la central nuclear para estimar estos sucesos básicos hasta el momento, así como la nueva metodología utilizada en este proyecto, respectivamente.

#### **2.5.2.5. Sucesos Especiales**

Los Sucesos Especiales son aquellos que no se pueden incluir en ninguna otra de las categorías anteriores porque dependen de la evolución dinámica de la planta o de configuraciones especiales, o bien, suponen simplificaciones de los modelos APS.

La metodología para su cuantificación viene determinada por cada suceso, utilizando datos específicos de la central nuclear siempre que sea posible.

### 3. Introducción a los Fallos de Causa Común

El término evento de causa común hace referencia a una clase específica de eventos dependientes encontrados por el analista de sistemas en el desarrollo de un APS. Los fallos dependientes son aquellos que anulan la redundancia o diversidad empleada para mejorar la disponibilidad de algunas funciones de la planta. Un fallo dependiente surge de alguna causa que hace fallar más de un sistema, o más de un tren de un sistema, simultáneamente. Por lo tanto, el efecto de los fallos dependientes es aumentar la indisponibilidad de la función del sistema en comparación con los casos en los que los fallos son independientes. En términos de modelado de la fiabilidad de sistemas, la incorporación de los efectos de los fallos dependientes en el modelo proporciona una estimación más realista de la indisponibilidad del sistema.

La experiencia operativa de los reactores ha mostrado que los eventos dependientes son los elementos principales de los incidentes y accidentes del reactor. Este resultado, en parte, es debido al éxito logrado en minimizar la frecuencia de accidentes potenciales causados por la coincidencia de eventos dependientes. Esto también es un indicativo del elevado grado de confiabilidad que se ha logrado a través del uso del principio de diseño de la redundancia, el cual ha sido particularmente efectivo en reducir el impacto de fallos únicos de equipos independientes.

Una conclusión general de los APS para plantas nucleares es que los Fallos de Causa Común (FCC) contribuyen significativamente en la indisponibilidad de sistemas de seguridad. Un evento de FCC consiste en fallos de componentes que cumplen los siguientes cuatro criterios:

- Dos o más componentes individuales fallan, están degradados (incluyendo fallos durante el tiempo de demanda o pruebas de servicio), o tienen deficiencias que resultarían en fallos de componentes si se recibe una señal de demanda.
- Los componentes fallan dentro de un periodo de tiempo seleccionado, de modo que el éxito de la misión del APS sería incierto.
- Los componentes fallan debido a un único mecanismo de conexión y causa compartida.
- Los componentes fallan dentro de los límites de componentes establecidos.

Los métodos para el análisis de los FCC han evolucionado en los últimos veinte años desde modelos cuantitativos simples hasta métodos sistemáticos para la recopilación de datos, análisis cuantitativos de ingeniería y la cuantificación de las probabilidades de los eventos de FCC y su impacto en las medidas de riesgo y fiabilidad. En 1988, como resultado de la colaboración entre el *Electric Power Research Institute* (EPRI) y la *US Nuclear Regulatory Commission* (US.NRC), la guía de dos volúmenes NUREG/CR-4780 "*Procedures for treating Common-Cause Failures in Safety and Reliability Studies*" (Ref. 2) fue publicada. Esta guía fue un gran paso adelante para llevar los resultados de la investigación y el

desarrollo anteriores en el tratamiento de FCC a un trabajo coherente y completo con extensas pautas metodológicas y prácticas que dan soporte a los análisis de riesgo. Se introducen además nuevas ideas y técnicas necesarias para superar problemas en las áreas de análisis de datos, modelado lógico de fiabilidad y modelado paramétrico de las probabilidades de FCC.

En el área de la recopilación de datos, EPRI emitió una versión actualizada de la base de datos de FCC cubriendo la experiencia operativa en centrales nucleares comerciales de EE. UU. hasta 1990. En 1992 la NRC lanzó un gran esfuerzo para recolectar y analizar sistemáticamente los eventos de FCC. Un nuevo esfuerzo internacional, conocido como el proyecto *International Common Cause Data Exchange*, iniciado en 1994, está en marcha para desarrollar una base de datos a través de compartir la experiencia en los FCC de diferentes países y diferentes tipos de plantas y prácticas operativas.

### 3.1. Definición y clasificación de los FCC

La definición de FCC está estrechamente vinculada a la comprensión de la naturaleza y la importancia de los eventos dependientes. Por ello, se proporciona a continuación una definición de evento dependiente considerando dos eventos de fallo, A y B, para tratar de simplificar la presentación.

Dos eventos A y B se dice que son eventos dependientes si:

$$P[A \cap B] \neq P[A]P[B] \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde  $P[X]$  denota la probabilidad del evento X.

En presencia de dependencias, a menudo, pero no siempre,  $P(A \cap B) > P(A)P(B)$ . Por lo tanto, si A y B representan fallos en las funciones de seguridad, la probabilidad real de ambos fallos será mayor que la probabilidad esperada, si esa probabilidad se calcula basándose en el supuesto de independencia.

Las dependencias se pueden clasificar de muchas maneras diferentes. A continuación, se muestra una clasificación útil para relacionar los datos operativos con las características de confiabilidad de los sistemas.

#### 3.1.1. Dependencia Intrínseca

La dependencia intrínseca hace referencia a los casos en los que el estado funcional de un componente se ve afectado por el estado funcional de otro componente. Este tipo de dependencias normalmente provienen de la forma en que el sistema ha sido diseñado para la realización de su función prevista.

A continuación, se muestran algunas subcategorías de dependencias intrínsecas en función del tipo de influencia que los componentes ejercen unos sobre los otros.

- **Dependencia de Requisitos Funcionales.** Hace referencia a los casos en los que el estado funcional del componente A determina los requerimientos funcionales del componente B. Posibles casos incluyen:
  - B no es necesario cuando A está en funcionamiento
  - B no es necesario cuando A falla
  - B es necesario cuando A está en funcionamiento
  - B es necesario cuando A falla.

La dependencia de requisitos funcionales también incluye los casos en los que el componente B es requerido para realizar su función por encima de su diseño debido al fallo de A.

- **Dependencia de Entrada Funcional.** Se refiere a los casos en los que el estado funcional de B depende del estado funcional de A. por ejemplo, A debe funcionar para que B funcione. En otras palabras, B se encuentra funcionalmente indisponible mientras A no esté funcionando. Un ejemplo es la dependencia de una bomba con la energía eléctrica. La pérdida de energía eléctrica hace a la bomba indisponible funcionalmente. Una vez la potencia eléctrica vuelve a estar disponible, la bomba vuelve a estar operativa.
- **Fallo en Cascada.** Hace referencia a los casos en los que el fallo de A conduce al fallo de B, un efecto en cascada dentro de un diseño. Un ejemplo es una válvula en una línea de succión de una bomba que falla a la apertura. El fallo de la válvula puede causar el fallo de la bomba si está activa. En este caso, incluso si la válvula se vuelve operativa, la bomba seguirá inoperativa ya que puede estar físicamente dañada.

A través de las dependencias mencionadas anteriormente, se crean otro tipo de dependencias intrínsecas. Un ejemplo es la Dependencia de Equipos Compartidos, donde algunos componentes dependen funcionalmente del mismo componente. Por ejemplo, si B y C son funcionalmente dependientes de A, entonces B y C presentan una dependencia de equipos compartidos.

Las dependencias intrínsecas conocidas deben modelarse explícitamente en el modelo lógico (por ejemplo, Árbol de Fallos) del sistema.

### 3.1.2. Dependencia Extrínseca

La dependencia extrínseca hace referencia a casos en los que la dependencia o el acoplamiento no es inherente o previsto en las características funcionales del sistema. La fuente y el mecanismo de estas



dependencias son normalmente externos al sistema. A continuación, se muestran algunos ejemplos de dependencias extrínsecas:

- Físicas/Medioambientales. Esta categoría incluye dependencias debido a factores medioambientales comunes tales como ambientes hostiles o anormales creados por un componente. Por ejemplo, altas vibraciones incluidas por A causan el fallo de B.
- Interacción Humana. Esta dependencia es causada por una interacción hombre-máquina. Por ejemplo, fallos de múltiples componentes por el mismo error de mantenimiento.

En los estudios de riesgo y confiabilidad de plantas nucleares, un gran número de dependencias extrínsecas se tratan a través del modelado de la fenomenología y los procesos físicos involucrados. Sin embargo, hay un gran número de mecanismos extrínsecos que son impredecibles y no pueden ser modelados. En algunos casos, incluso cuando los mecanismos se entienden bien, no es rentable modelar los efectos explícitamente. En estos casos, el efecto probabilístico combinado de dependencias es tratado de forma paramétrica. Esto significa que este tipo de eventos son tratados conjuntamente como un único grupo conocido como FCC.

Visto de esta manera, los eventos de FCC son inseparables de la clase de fallos dependientes. La distinción se basa en el nivel de tratamiento y la elección del método de modelización en el análisis de fiabilidad.

En los últimos 25 años, se han sugerido distintas definiciones para el concepto de fallo de causa común. Algunas definiciones son amplias y abarcan todo el conjunto de fallos dependientes. Otras definiciones focalizan la atención en los eventos dependientes en el contexto de una aplicación particular, como el APS. En el NUREG/CR-4780 (Ref. 2) se definen los FCC como un subconjunto de fallos dependientes en los que existen dos o más estados de fallo de componentes a la vez, o dentro de un corto intervalo de tiempo, debido a una causa compartida. De acuerdo con las prácticas actuales en el modelado de sistemas de análisis de confiabilidad, esta definición excluye el fallo o indisponibilidad de otros componentes como una causa compartida de un evento de FCC. Esta exclusión se basa en la premisa de que las dependencias funcionales son modeladas explícitamente en los modelos lógicos.

Los FCC resultan de la coexistencia de dos factores principales: (1) una susceptibilidad para que los componentes fallen o dejen de estar disponibles debido a una *causa raíz* particular o (2) un *factor de acoplamiento* o mecanismo que crea la condición para que múltiples componentes se vean afectados por la misma causa. En general, cada componente falla debido a su susceptibilidad a las condiciones creadas por la causa raíz y el papel de los factores de acoplamiento que crearon las condiciones comunes a varios componentes.

La susceptibilidad de un sistema de componentes a fallos dependientes, en comparación con los fallos independientes, viene determinada por factores de acoplamiento.

Caracterizar los eventos de FCC en función de estos factores principales, permite una evaluación efectiva de la ingeniería del fenómeno de FCC. La caracterización identifica las vulnerabilidades de la planta a los FCC y establece una base para las defensas contra ellos.

Definir los FCC en términos de causa raíz y factor de acoplamiento, así como el momento de los fallos, expresa las principales características de los FCC para la mayoría de las aplicaciones. El concepto de una causa compartida de mal funcionamiento o cambio en el estado del componente es el aspecto clave de un evento de FCC. El uso de la palabra “compartida” implica implícitamente el concepto de factor de acoplamiento o mecanismo. Además, la referencia a un intervalo de tiempo entre fallos reconoce la importancia de la confiabilidad de estos eventos. Fallos múltiples de componentes debido a una causa común que no afecten a los requisitos de la misión, tienen poca importancia desde el punto de vista de la confiabilidad. Es la correlación entre los tiempos de fallo de los componentes y su simultaneidad, en referencia al tiempo de misión especificado, lo que es significativo en términos de confiabilidad.

Los componentes que fallan debido a una causa común normalmente fallan en el mismo modo funcional. El término “modo de fallo común” es más indicativo del síntoma más común de un FCC, es decir, fallo de múltiples componentes en el mismo modo. Aun así, no es un término preciso para comunicar las características importantes que describen un evento de FCC.

### 3.2. Tratamiento de los FCC

Las diferentes clasificaciones de las causas de los fallos de causa común se dividen esencialmente en dos categorías:

- FCC debido a errores o fallos durante el diseño y la construcción. Se trata de un grupo de causas asociadas a sucesos o decisiones que tienen lugar antes de la explotación de la central. Se pueden establecer los siguientes tipos:
  - Especificaciones de diseño inadecuadas.
  - Diseño erróneo o inadecuado.
  - Fabricación inadecuada o defectuosa de equipos.
  - Construcción inadecuada o defectuosa.
- FCC por causas que surgen durante la operación de la central. Este grupo de causas está asociado a la operación de la planta y se puede subdividir en los siguientes tipos:

- Procedimientos inadecuados, es decir, ambiguos, incompletos o erróneos.
- Acciones humanas.
- Condiciones de funcionamiento o ambientales extremas.

Además de esta primera clasificación con las diferentes causas de fallos de causa común, es necesario para su evaluación establecer una clasificación según el modo de detección. Los diferentes modos de detección de los FCC se enumeran a continuación:

- Fallos de causa común que solo ocurren o se detectan durante el accidente.
- Fallos de causa común que se descubren durante la realización de pruebas u otro tipo de demandas en operación normal.
- Fallos de causa común que se detectan automáticamente.

La experiencia operativa de la CN proporciona datos acerca de los dos últimos tipos de fallo, determinando los FCC detectados durante un accidente de manera analítica. Sin embargo, también presenta una gran dificultad la cuantificación en base a la experiencia operativa de los FCC detectables en operación de la planta, puesto que su ocurrencia tiene lugar con mucha menor frecuencia que los fallos independientes debido a las siguientes razones:

- Solo una pequeña fracción de los fallos de componentes son de causa común.
- Los fallos de causa común detectados que tienen una gran repercusión sobre la fiabilidad de un sistema se solventan de tal modo que, en caso de volver a presentarse, tengan una frecuencia mucho menor.

Por todo lo nombrado anteriormente, la CN cuantifica únicamente los FCC de componentes iguales o similares, cuando se tenga experiencia de tales fallos o de fallos similares en la propia planta o en otras.

## 4. Métodos de cuantificación de los FCC de la CN

Para poder realizar el análisis de sensibilidad del cambio de metodología para la obtención de los valores numéricos de los Sucesos Básicos de Fallo de Causa Común de Nivel I a potencia, debe conocerse el método empleado hasta el momento por la Central Nuclear para tal fin, así como el nuevo método empleado para la cuantificación de los FCC en el presente informe.

Hasta el momento, el método empleado por la CN para el cálculo de los valores numéricos de FCC ha sido el método de las Múltiples Letras Griegas (MLG), que ha sido sustituido por el método del Factor Alfa para la nueva cuantificación.

### 4.1. Tratamiento de FCC en modelos de sistemas

Se definen los fallos de causa común como fallos múltiples de componentes de un mismo tipo concurrentes en el tiempo de la secuencia de accidente, que se producen por una misma causa, y que no han sido modelados explícitamente.

En la metodología usada hasta el momento, los fallos de causa común eran incorporados en los árboles de fallos de los sistemas y de sucesos iniciadores en forma de sucesos básicos de fallos de causa común de componentes. En la nueva metodología empleada, se eliminan los sucesos básicos de fallo de causa común de los árboles de fallos de los sistemas y de sucesos iniciadores, ya que se crean nuevos árboles de fallo para cada grupo de FCC que se interrelacionan con los sucesos básicos de componentes, situados en los árboles de fallos de los sistemas y de sucesos iniciadores.

En principio, la postulación de fallos de causa común en los modelos está limitada a componentes activos iguales y con la misma función, utilizados para proporcionar redundancia dentro de un mismo sistema.

El análisis de fallos de causa común se aplica a aquellos grupos de componentes que puedan ser susceptibles de experimentar mecanismos de acoplamiento de los fallos. Dichas condiciones o mecanismos de acoplamiento considerados son:

- Características de diseño del componente.
- Características de operación (función dentro del sistema, modo de operación y modo de fallo, condiciones ambientales, ...).
- Condiciones de pruebas o mantenimiento.
- Ubicación.

Los criterios adoptados para postular fallos de causa común en los árboles de fallo de sistemas son los siguientes:

- Se postulan fallos de causa común a componentes del mismo tipo.
- Se postulan fallos de causa común para componentes con el mismo tipo de fallo.
- Se postulan fallos de causa común a componentes que requieren el cambio de estado en el momento de ocurrencia del suceso iniciador.
- Se postulan fallos de causa común a componentes que requieran el cambio de estado en el momento de ocurrencia del suceso iniciador.
- Se postulan fallos de causa común para componentes que realizan una función redundante.
- Se postulan fallos de causa común para grupos de componentes que se encuentran dentro del mismo sistema APS.

Tras el análisis de los sistemas de acuerdo con los criterios antes expuestos, se han identificado los siguientes tipos de componentes y modos de fallo para los que se han postulado fallos de causa común:

**Tabla 4.1.** Tipos de componentes y modos de fallo para los que se han postulado FCC (Fuente: IT-1501\_REv.9)

Tipo de Componente	Modo de Fallo
Batería	Pérdida de función
Bobinas Mínima Tensión	A la desenergización
Bobinas Shunt	A la energización
Bomba mot. Centrífuga 380 V (con int.) normalm. Espera	Al arranque
Bomba mot. Centrífuga 380 V (con int.) normalm. Espera	En operación
Bomba mot. Centrífuga 6,25 kV (sin int.) normalm. Espera	Al arranque
Bomba mot. Centrífuga 6,25 kV (sin int.) normalm. Espera	En operación
Bomba mot. Centrífuga 6,25 kV (sin int.) normalm. Operando	Al arranque
Bomba mot. Centrífuga 6,25 kV (sin int.) normalm. Operando	En operación
Compresor	Al arranque
Compresor	En operación
Compuerta Motorizada	A la apertura
Generador Diesel	Al arranque
Generador Diesel	En operación
Interruptor de Disparo de Reactor	A la apertura
Interruptor de media tensión (6,25 kV)	A la apertura
Interruptor de media tensión (6,25 kV)	Al cierre
Unidad de refrigeración de salas (con int.) normalm. Espera	Al arranque
Unidad de refrigeración de salas (con int.) normalm. Espera	En operación
Unidad de refrigeración de salas (con int.) normalm. Operando	Al arranque
Unidad de refrigeración de salas (con int.) normalm. Operando	En operación
Tipo de Componente	Modo de Fallo
Unidades Enfriadoras normalm. Espera	Al arranque

<b>Tipo de Componente</b>	<b>Modo de Fallo</b>
Unidades Enfriadoras normalm. Espera	En operación
Válvula Alivio (Primario)	A la apertura
Válvula de Seguridad	A la apertura
Válvula Hidráulica	A la apertura
Válvula Hidráulica	Al cierre
Válvula Hidráulica	Pérdida de función
Válvula Motorizada	A la apertura
Válvula Motorizada	Al cierre
Válvula Neumática	A la apertura
Válvula Neumática	Al cierre
Ventilador (con int.) normalm. Espera	Al arranque
Ventilador (con int.) normalm. Espera	En operación
Ventilador (con int.) normalm. Operando	Al arranque
Ventilador (con int.) normalm. Operando	En operación

## 5. Metodología de obtención de los valores numéricos de los SB de FCC mediante el método de las MLG

Se describen a continuación tanto las fuentes de datos utilizadas por la CN para la estimación de los valores numéricos de los sucesos básicos de fallo de causa común, como el método de cálculo de estos. El detalle del proceso proviene de la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3) elaborada por la propia CN. El programa utilizado para la cuantificación y modelación del APS ha sido *RiskSpectrum*®.

Se distinguen dos casos de estudio en función de que el número de componentes del suceso de fallo de causa común sea dos o mayor que dos.

### 5.1. Fuentes para la obtención de datos

El documento preferente para la obtención de información que permite estimar las probabilidades y tasas de fallos de causa común es el EPRI TR-100382: *“A Database of Common-Cause Events for Risk and Reliability Applications”* (Ref. 4).

No obstante, se dan casos de tipos de componentes de los que no existe información en el documento mencionado. En esta situación se ha optado por las siguientes fuentes:

- Bombas motorizadas de las que no existen datos explícitos en el EPRI TR-100382. En este caso se han utilizado los datos procedentes del EPRI TR-100382 para todos los tipos de bombas.
- Válvulas neumáticas e hidráulicas. Se han utilizado factores genéricos.
- Baterías. En este caso se ha utilizado la información contenida en los NUREG/CR-5497 y 6268 (Ref. 5 y Ref. 6), al ser la única disponible que contiene información sobre fallos de causa común de estos componentes. Estas fuentes proporcionan directamente los parámetros MLG para distintas poblaciones.
- Bobinas “shunt” del sistema de disparo del reactor. Se utiliza un factor beta ( $\beta$ ) genérico de 0,1.

### 5.2. Sucesos de fallo de causa común de grupos de dos componentes

#### 5.2.1. Cuando no se dispone de información

Ante la ausencia de información para el tipo de componente concreto de que se trate, se considera un factor beta ( $\beta$ ) genérico igual a 0,1.

### 5.2.2. Cuando se dispone de información

En estos casos, la metodología de las MLG coincide con el método del factor beta ( $\beta$ ) cuando el número de redundancias es 2. De acuerdo con este último método, la probabilidad o tasa de fallo a partir de la que se obtienen las correspondientes de causa común, se interpreta como probabilidad o tasa de fallo total. De este modo, la probabilidad o tasa de fallo de causa común se obtendrá de acuerdo con las ecuaciones Ec. 5.1 y Ec. 5.2, respectivamente:

$$P_c = P \cdot \beta \quad (\text{Ec. 5.1})$$

$$\lambda_c = \lambda \cdot \beta \quad (\text{Ec. 5.2})$$

Donde:	$P$	Probabilidad de fallo total
	$P_c$	Probabilidad de fallo de causa común
	$\lambda$	Tasa de fallo total
	$\lambda_c$	Tasa de fallo de causa común

Los valores numéricos de  $P$  y  $\lambda$  se obtienen en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto.

Para la obtención del factor  $\beta$  se han tenido en cuenta la política de pruebas de los componentes de que se trate, y en función de dicha política se utilizará una de las dos formulaciones que se indican a continuación (Ec. 5.3 o Ec. 5.4):

- Componentes sometidos a una política de pruebas escalonadas:

$$\beta = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

- Componentes sometidos a una política de pruebas no escalonadas:

$$\beta = \frac{2 \cdot n_2}{n_1 + 2 \cdot n_2} \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Donde:	$n_1$	número de fallos independientes
	$n_2$	número de fallos de causa común



Cuando para la obtención de los valores de  $n_1$  y  $n_2$  se utilice la información contenida en el documento EPRI TR-100382, el cálculo del factor  $\beta$  puede realizarse de una de las dos formas que se indican a continuación:

#### 5.2.2.1. Sin distinción entre modos de fallo del componente

En esta situación se toman los valores numéricos de  $n_1$  y  $n_2$  contenidos en la tabla 1-1 del EPRI TR-100382 y se calcula el valor del factor  $\beta$  teniendo en cuenta la política de pruebas a que está sometido el componente.

#### 5.2.2.2. Distinguiendo entre modos de fallo

En primer lugar, debe analizarse la aplicabilidad de cada uno de los sucesos de fallo de causa común reportados a la situación de la CN en concreto. Hecho esto, y para aquellos sucesos que resulten de aplicabilidad, se efectúa la transformación hacia abajo (*mapping down*) del vector de impacto de cada uno de dichos sucesos teniendo en cuenta la población de fallo de cada uno de ellos.

Una vez efectuada la transformación, y teniendo en cuenta el número de sucesos de fallo independiente para el modo de fallo objeto de estudio, es posible obtener los valores de  $n_1$  y  $n_2$  y posteriormente aplicar alguna de las fórmulas (Ec. 5.3 o Ec. 5.4) para obtener el factor  $\beta$  en función de la política de pruebas a que está sometido el componente en la CN.

#### 5.2.2.3. Fallos de causa común al arranque de bombas de 6,25 kV y enfriadores del GJ

En general, los sucesos recogidos en el EPRI TR-100382 se analizan para la estimación del factor  $\beta$  mediante la segunda metodología narrada en el apartado 2.5.2.2. No obstante, cuando los resultados no parecían coherentes, se ha estimado un factor  $\beta$  a partir del primer método (metodología del apartado 5.2.2.1.), sin realizar análisis de aplicabilidad.

Como caso particular dentro de los fallos de causa común de grupos de dos componentes se encuentra el fallo de causa común al arranque tanto de bombas de 6,25 kV como de los enfriadores del sistema de Agua Enfriada Esencial (GJ). La peculiaridad se encuentra en que para estos componentes y en cuanto al fallo al arranque se refiere, se modelan de forma separada el fallo independiente al arranque del componente y al cierre del interruptor de 6,25 kV correspondiente. En todos los casos el fallo de causa común al arranque es de grupos de dos componentes y afecta a:

- Bombas de agua de alimentación auxiliar
- Bombas de agua de refrigeración de componentes
- Bombas de rociado de contención
- Bombas de inyección de seguridad de alta presión
- Bombas de inyección de seguridad de baja presión

- Bombas de agua de servicios esenciales
- Unidades de enfriamiento del sistema de agua esencial enfriada

El cálculo del factor beta para el fallo de causa común al arranque se efectuará de acuerdo con la fórmula siguiente (Ec. 5.5):

$$\beta = \frac{\beta_1 \cdot FCII + \beta_2 \cdot FABI}{FCII + FABI} \quad (\text{Ec. 5.5})$$

Donde:  $\beta_1$  Factor beta para el fallo al cierre del interruptor de 6,25 kV

$\beta_2$  Factor beta para el fallo al arranque de la bomba de 6,25 kV o enfriador

$FCII$  Probabilidad total de fallo al cierre del interruptor

$FABI$  Probabilidad total de fallo al arranque de la bomba o enfriador

O lo que es lo mismo, la probabilidad de fallo de causa común ( $P_c$ ) al arranque se calcula como (Ec. 5.6):

$$P_c = \beta_1 \cdot FCII + \beta_2 \cdot FABI \quad (\text{Ec. 5.6})$$

Sin embargo, dentro de los límites físicos de los componentes bomba centrífuga y unidades de enfriamiento del EPRI TR-100382, se incluye el interruptor, por lo que se considera aplicable el factor beta de estos equipos calculado a partir de dicho documento, es decir,  $\beta_1 = \beta_2$ .

### 5.3. Sucesos de FCC de grupos de más de dos componentes

Cuando el grupo de componentes para el que se estudia el FCC esté compuesto por un número superior a dos, el método de MLG no se corresponde con el método del Factor Beta. Por ello, dependiendo de la información disponible y su procedencia pueden darse diferentes métodos para la obtención de los parámetros  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,... de las MLG, necesarios para efectuar la estimación de la probabilidad de fallos de los sucesos de causa común. A continuación, se indican los diferentes métodos considerados por la CN.

#### 5.3.1. Cuando se utilice información existente en el EPRI TR-100382

En este caso, el método de obtención de los parámetros de las MLG pasa por las siguientes etapas:

- a) Análisis de los sucesos a fin de determinar su aplicabilidad o no, y en caso de que sean aplicables, incluir a través de un parámetro denominado factor de aplicabilidad ( $r$ ) el juicio cualitativo acerca de la posibilidad de que el suceso reportado pueda darse en el sistema que

es objeto de análisis. Siguiendo las reglas establecidas en la NUREG/CR-5801 (Ref. 7) se establecen los siguientes valores para el factor de aplicabilidad:

- $r = 0$  cuando el suceso no pueda darse en el sistema de la CN objeto de análisis.
- $r = 0,1$  cuando el suceso pueda darse en el sistema de la CN objeto de análisis, pero se estima que existe una gran defensa respecto a este tipo de fallos.
- $r = 0,5$  cuando el suceso pueda darse en el sistema de la CN objeto de análisis, pero se estima que existe una moderada defensa respecto a este tipo de fallos.
- $r = 1,0$  cuando el suceso pueda darse en el sistema de la CN objeto de análisis y se estima que no existe, o es muy débil, la defensa respecto a este tipo de fallos.

Una vez establecido el valor de  $r$  para cada suceso, el nuevo vector de impacto se obtendrá como producto del vector de impacto original por el factor  $r$ .

- b) Transformación de los vectores de impacto dependiendo del número de componentes involucrados en el fallo reportado y el número de componentes del sistema objeto de análisis (*mapping down* cuando la población del suceso sea superior al número de componentes en el sistema objeto de análisis y *mapping up* en caso contrario), de acuerdo con la metodología descrita en el apartado 2.7.4 del EPRI TR-100382.

En caso de que la población analizada en el proceso de transformación de los vectores de impacto sea superior a cuatro, la transformación se efectuará con las fórmulas correspondientes a un suceso cuya población es cuatro componentes. De la misma forma, si el número de componentes en el sistema objeto de análisis es superior a cuatro, la transformación se realizará como si dicho número de componentes fuera cuatro.

- c) Obtención de los valores de los parámetros de las MLG a partir de los valores numéricos de  $n_1, n_2, \dots, n_k$  obtenidos a partir de los vectores de impacto transformados y del número de sucesos de fallo independiente reportados.

- Grupo de fallo de 3 componentes:

$$\beta = (2n_2 + n_3)/(n_1 + 2n_2 + n_3) \quad (\text{Ec. 5.7})$$

$$\gamma = n_3/(2n_2 + n_3) \quad (\text{Ec. 5.8})$$

Donde  $n_1$  representa el número de fallos independientes, y  $n_2$  y  $n_3$  el de causa común de 2 y 3 componentes respectivamente.

El factor de causa común será:

- Para el fallo de dos de tres componentes:  $\frac{1}{2} \cdot \beta \cdot (1 - \gamma)$
- Para el fallo de tres de tres componentes:  $\beta \cdot \gamma$

- Grupo de fallo de 4 componentes:

$$\beta = (3n_2 + 3n_3 + n_4)/(n_1 + 3n_2 + 3n_3 + n_4) \quad (\text{Ec. 5.9})$$

$$\gamma = (3n_3 + n_4)/(3n_2 + n_3 + n_4) \quad (\text{Ec. 5.10})$$

$$\delta = n_4/(3n_3 + n_4) \quad (\text{Ec. 5.11})$$

Donde  $n_1$  representa el número de fallos independientes, y  $n_2$ ,  $n_3$  y  $n_4$  el de causa común de 2, 3 y 4 componentes respectivamente.

El factor de causa común será:

- Para el fallo de dos de cuatro componentes:  $\frac{1}{3} \cdot \beta \cdot (1 - \gamma)$
- Para el fallo de tres de cuatro componentes:  $\frac{1}{3} \cdot \beta \cdot \gamma \cdot (1 - \delta)$
- Para el fallo de cuatro de cuatro componentes:  $\beta \cdot \gamma \cdot \delta$

La obtención de los parámetros anteriores se realiza, tal y como se ha indicado anteriormente, a partir de la información incluida en el EPRI TR-100382, cuando ello es posible, a partir de los vectores de impacto de los sucesos incluidos en dicha fuente y siguiendo la metodología descrita en el mismo.

### 5.3.2. Cuando no se dispone de información en el EPRI TR-100382

En este caso existen dos alternativas, dependiendo de si se dispone de alguna referencia de la que pueda obtenerse un valor numérico del factor  $\beta$  para dos componentes.

#### 5.3.2.1. Valores genéricos MLG

Si no se dispone de información alguna (o lo que es lo mismo, el factor beta para un grupo de dos componentes sería el genérico de valor 0,1), se utilizan los valores genéricos de los parámetros de las MLG proporcionados por la NUREG/CR-5801 (Ref. 7), que son los que se muestran a continuación.

Para fallo a la demanda:

**Tabla 5.1.** Valores genéricos para fallo a la demanda MLG (Fuente: IT-1501\_REv.9)

N.º de componentes en el suceso de Fallo de Causa Común	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	fcc
2	0,10	-	-	1,00E-01
3	0,10	0,27	-	2,70E-02
4	0,11	0,42	0,40	1,85E-02

Para fallo en misión/operación:

**Tabla 5.2.** Valores genéricos para fallo en misión/operación MLG (Fuente: IT-1501\_REv.9)

N.º de componentes en el suceso de Fallo de Causa Común	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	fcc
2	0,05	-	-	5,00E-02
3	0,05	0,27	-	1,35E-02
4	0,06	0,42	0,40	1,01E-02

### 5.3.2.2. Factor beta calculado a partir de otras fuentes

Si se dispone de información de la que se puede obtener el factor  $\beta$  para dos componentes se utiliza la metodología denominada Factor Beta Corregido, extraída del NUREG/CR-4550. Vol. 2 (Ref. 8). En dicha metodología se aplica la formulación correspondiente a las MLG, es decir, la probabilidad de fallo de  $k$  componentes,  $Q_k$ , en un grupo de causa común de tamaño  $m$  es (Ec. 5.12):

$$Q_k = \frac{1}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \left( \prod_{i=1}^k \rho_i \right) \cdot (1 - \rho_{k+1}) \cdot Q_t \quad (\text{Ec. 5.12})$$

Donde  $\rho_i = 1$  i  $\rho_{m+1} = 0$ .

Los parámetros  $\rho_i$  son la probabilidad condicional de que un fallo de causa común, compartido por “ $i-1$ ” componentes, sea compartido por “ $i$ ” componentes. En ausencia de datos, los valores de  $\rho_i$  deben estimarse mediante algún método conocido. Uno de los tales métodos consiste en suponer que la probabilidad condicional de que falle el “ $k$ -ésimo” componente, suponiendo que han fallado “ $k-1$ ” componentes, es el promedio entre 1,0 y el factor beta para “ $k-1$ ” componentes. Es decir, en términos de los parámetros  $\rho_i$  anteriores:

$$\rho_k = \frac{1 + \rho_{k-1}}{2} \text{ para } k > 2 \quad (\text{Ec. 5.13})$$

Para calcular la probabilidad de fallo de causa común de los  $m$  componentes del grupo, se define el parámetro  $\beta_k$  de forma que  $Q_k = \beta_k \cdot Q_t$  (Siendo  $Q_t$  la probabilidad de fallo independiente y siendo ahora “ $k$ ” el total de los componentes del grupo, es decir,  $k = m$ ). Efectuando la sustitución de la Ec. 5.12 en la Ec. 5.13, se obtiene la siguiente expresión para  $\beta_k$  (Ec. 5.14):

$$\beta_k = \prod_{i=2}^k \left( \frac{2^{i-2} - 10 + \beta_2}{2^{i-2}} \right) \quad (\text{Ec. 5.14})$$

En resumen, con la hipótesis representada por la Ec. 5.13 y conociendo el factor beta de los componentes, es posible obtener la probabilidad de fallo de causa común de  $k$  componentes.

## 5.4. Modos de fallo y modelos de indisponibilidad

Los equipos pueden manifestar sus fallos en tres intervalos de tiempo: mientras están en espera, cuando se demanda su actuación o cuando están en operación o funcionamiento. Para obtener las indisponibilidades de los sucesos básicos que componen un determinado árbol de fallos, es necesario conocer y disponer ciertos parámetros de funcionamiento e intrínsecos de los componentes o equipos que forman el sistema a analizar.

- Tasa de fallos: determinada por el número de fallos que ocurren en un equipo dividido por el tiempo transcurrido.
- Tasa de fallos en operación: viene determinada por el número de fallos que tiene un equipo cuando está en espera dividido por el tiempo de espera en el que ocurren los fallos.
- Tasa de fallos en espera: determinada por el número de fallos que tiene un equipo cuando está en espera dividido por el tiempo de espera en el que ocurren los fallos.
- Indisponibilidad: es el parámetro que en términos probabilísticos define la no disponibilidad de un equipo en un cierto instante de tiempo.
- Indisponibilidad por demanda: es el número de fallos que tiene un equipo en la demanda de actuación dividido por el número de demandas efectuadas.
- Tiempo de misión: es el tiempo en que un equipo está en funcionamiento.
- Tiempo entre pruebas: intervalo de tiempo entre revisiones periódicas de un equipo.
- Tiempo de prueba: tiempo medio que dura la prueba o revisión de un equipo.
- Tiempo de reparación: tiempo medio de reparación de un equipo que se ha detectado fallado.

Para cada suceso básico de FCC definido, se debe tener en cuenta el modelo de indisponibilidad que presentan los sucesos básicos de fallo de componentes que lo forman. Si los fallos de componentes siguen un modelo de indisponibilidad de demanda, se obtiene una probabilidad de fallo de causa común en demanda (fallos/demanda o fallos/d), en cambio, si los fallos de componentes siguen un modelo de indisponibilidad de misión/operación o espera, se obtiene una tasa de fallo de causa común horaria (fallos/horas o fallos/h).

## 5.5. Análisis de los sucesos básicos de FCC con el software *RiskSpectrum*<sup>®</sup>

Para el análisis y la cuantificación de los FCC en los diferentes modelos de sistemas se utiliza el software *RiskSpectrum*<sup>®</sup>, una herramienta interactiva para los análisis de seguridad y fiabilidad. Este software pone énfasis en la organización, el análisis y la presentación de información de riesgo y fiabilidad.

Utilizando el método de las MLG, los sucesos básicos de FCC se analizan directamente como Eventos Básicos de fallo de causa común en el modelo proporcionado por la Central Nuclear. Posteriormente, cada Evento Básico de fallo de causa común es introducido en el árbol de fallos del sistema correspondiente, así como los Eventos Básicos de fallo de componentes a los que se refiere el FCC.

Para la obtención de las tasas de fallo horarias o probabilidades de fallo en demanda independientes, se utiliza la información contenida en la Instrucción de Trabajo IT-1301: Base de Datos Genérica (Rev. 7) (Ref. 9) y fundamentalmente los resultados del análisis bayesiano/estimación directa proporcionados en la Instrucción de Trabajo IT-1306: Tasas horarias y probabilidades de fallo en demanda para el cálculo de indisponibilidades de sucesos básicos (Rev. 9) (Ref. 10).

Además, a cada suceso básico de FCC definido en *RiskSpectrum*® se le asigna una probabilidad o tasa de fallo de causa común, obtenida a partir de la información disponible en el capítulo 4.1. “Fuentes para la obtención de datos” y en función del modelo de indisponibilidad del mismo suceso básico.

Una vez creados todos los eventos básicos correspondientes a los FCC y a los fallos independientes, estos deben introducirse en los árboles de fallo del sistema y de sucesos iniciadores correspondientes de forma estructurada, utilizando las puertas lógicas necesarias en cada caso para dar sentido al árbol de fallos. Además, también deben introducirse otros eventos básicos definidos en el modelo de sistemas. La realización de los árboles de fallos queda fuera del alcance del proyecto, de modo que vienen definidos en el modelo de la Central Nuclear.

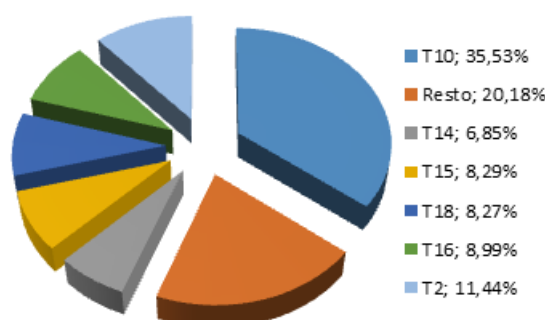
## 5.6. Resultados obtenidos con el método de las MLG

En el Informe Resumen (Ref. 11) de la última edición del APS de Nivel I de Sucesos Internos a Potencia, elaborado por la CN, se describen los resultados obtenidos de la simulación del modelo en el software *RiskSpectrum*® habiendo calculado las probabilidades de FCC mediante el método de las MLG.

Fijado el límite de truncación a 1E-10/año como referencia, se obtiene un valor puntual de la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN) igual a 8,25E-06/año debido a sucesos internos. Este valor se tomará como base con la planta situada en operación a potencia.

La Tabla A.1. del Anexo A muestra los 120 primeros conjuntos mínimos de fallo que constituyen la Ecuación de la Función de Daño al Núcleo (EFDN) de esta edición, previa a la modificación del método de cuantificación de los FCC. Para esta edición, se obtiene un valor de 7242 Eventos Básicos MCS guardados, que hace referencia a la sucesión de eventos que llevan a daño al núcleo.

La Tabla A.2 del anexo A presenta los iniciadores (ver Tabla 5.3) ordenados según su contribución a la FDN e indicando también su Frecuencia de ocurrencia (Fo), y su Probabilidad Condicionada de Daño al Núcleo (PCDN), calculada como el cociente entre la FDN y la Fo, por lo que es una aproximación que puede estar desvirtuada por la truncación.



**Figura 5.1.** Contribución a la FDN de los principales Sucesos Iniciadores (Fuente: elaboración propia)

En el gráfico de la Figura 5.1 se muestra la contribución a la FDN de los iniciadores más importantes; es equivalente a los valores de FDN de la Tabla A.2 del Anexo A, aunque aquí están agrupados en “Resto” los que contribuyen en menos de un 5% a la FDN. Destaca en primer lugar el Iniciador T10, con una contribución del 35,53%, seguido del Iniciador T2 con un 11,44%.

El Suceso Iniciador es el primer evento que ocurre y esto inicia la secuencia de eventos modelados en el Árbol de Eventos. La frecuencia obtenida en la simulación de un Suceso Iniciador depende de la sucesión de eventos que llevan a dañar el núcleo y que empiezan por dicho SI.



**Tabla 5.3.** Descripción de los Sucesos Iniciadores (fuente: IT-1302\_Rev.9-Ed.7A)

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>
<b>A1</b>	LOCA muy grande
<b>A2</b>	LOCA grande
<b>RT</b>	Rotura de un tubo en un generador de vapor
<b>RV</b>	Rotura de vasija
<b>S1</b>	LOCA intermedio
<b>S2</b>	LOCA pequeño
<b>S3</b>	LOCA muy pequeño
<b>T1</b>	Pérdida total de energía eléctrica exterior
<b>T10</b>	Pérdida de la barra de 6.25 KV c.a. 1E 7A
<b>T14</b>	Pérdida del tren B del sistema de agua de refrigeración de componentes
<b>T15</b>	Pérdida de la barra de 125 V c.c. 1E KCDV-125-1
<b>T16</b>	Pérdida de la barra de 125 V c.c. 1E KCDV-125-3
<b>T17/T18</b>	Pérdida de la energía eléctrica exterior de 400 KV c.a. No Recuperable y Recuperable
<b>T2</b>	Disparos de reactor y turbina
<b>T2A</b>	Pérdida de agua de alimentación principal
<b>T4</b>	Pérdida del sistema de aire comprimido
<b>T5</b>	Rotura en líneas de vapor principal, aguas abajo de las MSIV's
<b>T6</b>	Rotura de vapor principal dentro de contención
<b>T7</b>	Rotura de líneas de vapor, aguas arriba de las válvulas de aislamiento, fuera de contención
<b>T8</b>	Actuación inadvertida de inyección de seguridad
<b>V</b>	LOCA de interfase

## 6. Metodología de obtención de los valores numéricos de los SB de FCC mediante el método del Factor Alfa

El objeto del presente capítulo es reflejar la nueva metodología empleada para la cuantificación de los sucesos básicos de fallo de causa común y los resultados obtenidos del análisis realizado en el APS para la CN de estudio, describiendo todos los pasos que se han llevado a cabo para realizar este cambio de metodología. Dicho análisis no incluye las dependencias debidas a errores humanos, o aquellos originados por incendios, inundaciones o sismos. El programa utilizado para la cuantificación y modelación del APS ha sido *RiskSpectrum*®.

### 6.1. Fuentes para la obtención de datos

El documento preferente para la obtención de los parámetros Alfa del modelo empleado en dicho estudio es el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” (Ref. 12) elaborado por la *U.S Nuclear Regulatory Commission*. Este informe documenta los resultados cuantitativos del esfuerzo de recopilación de datos de fallos de causa común y resume los resultados del proceso de cuantificación de estimación de parámetros, realizado en los datos de FCC en la base de datos de la U.S NRC.

Para cada suceso básico de fallo de causa común identificado en el APS de la CN se determina inicialmente el modelo del sistema en el que se encuentra. Conociendo el funcionamiento del sistema y los componentes que intervienen, se determina el componente al cual hace referencia el suceso básico de FCC correspondiente, el número de componentes que forman la población de dicho suceso básico y el modo de fallo de estos. Una vez extraída esta información del suceso básico definido, se debe localizar el apartado del “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” que hace referencia al componente o componentes de estudio y su modo de fallo correspondiente en el sistema.

En cada uno de los apartados mencionados se dispone de un número variado de tablas, una para cada número de población, hasta un máximo de ocho componentes, en las cuales se disponen los valores de los parámetros Alfa que variarían en función de la población. En caso de no disponer de un apartado específico para un componente en concreto, se utilizan los valores Alfa genéricos que aparecen en el mismo documento.

Los datos de los parámetros Alfa disponibles en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” son para una población máxima de ocho componentes en la mayoría de sus apartados, coincidiendo con la población máxima que el software *RiskSpectrum*® permite introducir en su base de datos para realizar los cálculos correspondientes. Sin embargo, existen algunos apartados del mencionado documento en los que la población máxima para la cual se dispone de datos de parámetros Alfa es inferior a ocho.

### 6.1.1. Introducción de los parámetros Alfa en el software *RiskSpectrum*®

El análisis y cuantificación de los FCC en el software *RiskSpectrum*® utilizando el método del Factor Alfa se realiza de forma distinta a la que se ha expuesto para el método de las MLG, ya que en este caso los sucesos básicos de fallo de causa común se definen como grupos de FCC en lugar de definirse como Eventos Básicos. A cada grupo de FCC definido se le deben asignar los valores de los factores Alfa correspondientes en función del tipo de componente y de la población.

*RiskSpectrum*® permite definir parámetros Alfa para una población de dos hasta ocho componentes, introduciendo los valores de la media y de la distribución parcial 1 de los factores Alfa, disponibles en las tablas de cada apartado del documento “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*”. Para cada parámetro introducido en el software, él mismo calcula mediante una distribución Beta los valores de la Mediana, el percentil del 5% y el percentil del 95%.

Para un grupo de FCC de  $m$  componentes se definen  $m-1$  parámetros de Factor Alfa, empezando por el “Factor Alfa 2” hasta el “Factor Alfa  $m$ ” y que corresponden a los valores de los parámetros Alfa del apartado y de la tabla de población correspondiente del “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*”. Posteriormente, al grupo de FCC creado se le asignan los parámetros Alfa a los cuales hace referencia.

Se debe tener en cuenta que en un mismo apartado del documento de referencia para la obtención de datos se dispone de diferentes tablas, cada una de ellas correspondiente a un número de componentes de FCC. Eso implica que dos fallos de causa común que correspondan a un mismo apartado tendrán valores de los parámetros Alfa diferentes en caso de que la población del grupo de FCC sea distinta. Por ello, en la creación de los parámetros de Factor Alfa en el software *RiskSpectrum*® se debe indicar en el ID del parámetro el capítulo al cual hace referencia y el número de componentes.

## 6.2. Creación de los Grupos de FCC en *RiskSpectrum*®

En este nuevo modelo, los sucesos básicos de FCC se definen como Grupos de FCC en el software *RiskSpectrum*® en lugar de definirse como Eventos Básicos, tal y como se hacía para el método de las MLG. El ID del Grupo de FCC también será diferente al que se utilizaba para definir los eventos básicos de FCC, ya que en este caso el identificador debe hacer referencia al tipo de fallo que se produce y a los componentes implicados. Esta modificación se ha realizado para facilitar la identificación de los componentes y el modo de fallo de los FCC.

Listado de identificadores de FCC (ID):

- Fallo de causa común al cierre: C©
- Fallo de causa común a la apertura: O©

- Fallo de causa común en operación: R©
- Fallo de causa común al arranque: S©
- Fallo de causa común a la energización: E©
- Fallo de causa común a la desenergización: D©
- Fallo de causa común por pérdida de función: F©

Para cada Grupo de FCC debe indicarse si los componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas o no escalonadas, seleccionando el modelo Alfa-8 escalonado o no escalonado según corresponda, ya que la formulación para la obtención del factor de causa común en cada caso será diferente:

- Para una política de pruebas escalonadas

$$fcc_k = \frac{1}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \alpha_k \quad (\text{Ec. 6.1})$$

- Para una política de pruebas no escalonadas

$$fcc_k = \frac{k}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \frac{\alpha_k}{\alpha_{tot}} \quad (\text{Ec. 6.2})$$

$$\alpha_{tot} = \sum_{k=1}^m k \cdot \alpha_k \quad (\text{Ec. 6.3})$$

Donde:  $m$  número de eventos básicos en el Grupo de FCC.

En la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3), elaborada por la CN, se determina para la mayoría de los sucesos básicos de FCC si los componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas o no escalonadas. En caso de que en la descripción del suceso básico de FCC no se especifique la política de pruebas a la que están sometidos los componentes, se tomará una política de pruebas no escalonadas excepto en los siguientes casos:

- Fallo de causa común de dos o tres bombas (en el caso de 3 bombas, la tercera no tiene importancia en el suceso básico).
- Fallo de causa común de bombas de carga (Sistema AL, BK, BC, BJ).
- Fallo de causa común de generadores diésel.

Una vez creados los Grupos de FCC deben asignarse los Eventos Básicos que correspondan a cada uno de ellos, añadiéndolos uno a uno al Grupo de FCC. Estos Eventos Básicos son los mismos que se habían definido para el modelo de las MLG como fallos de componentes en la lista de eventos básicos del software *RiskSpectrum*®. El número de Eventos Básicos del Grupo de FCC debe ser el mismo que el

número de componentes del grupo, ya que cada Evento Básico hace referencia al fallo de un componente del grupo en concreto.

### 6.2.1. Sucesos Especiales de grupos de FCC en *RiskSpectrum*®

Para la mayoría de los sucesos básicos de FCC de estudio, la población es inferior o igual a la máxima de la que se dispone información en el apartado correspondiente del documento “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*”, sin embargo, existen algunas excepciones:

- Fallo de causa común a la apertura de 2 o más de entre 5 válvulas de seguridad en un generador de vapor.

Apartado 2.8.2.1. PWR MAIN STEAM CODE SAFETIES FAIL TO OPEN del “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” con una población máxima de 4 componentes. Debido a la indisponibilidad de datos, dicho suceso básico se tratará como Suceso Especial.

- Fallo de causa común a la apertura de 4 o más de las 15 válvulas de seguridad de los generadores de vapor.

Apartado 2.8.2.1. PWR MAIN STEAM CODE SAFETIES FAIL TO OPEN del “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” con una población máxima de 4 componentes. Debido a la indisponibilidad de datos, dicho suceso básico se tratará como Suceso Especial.

Estos sucesos básicos de fallo de causa común no se definían como sucesos especiales cuando se empleaba el método de las MLG, sino que se definían como fallos de causa común en la lista de Eventos Básicos de *RiskSpectrum*® y se añadían directamente a los árboles de fallo del sistema correspondiente, igual que se hacía con el resto de los sucesos básicos de fallo de causa común.

En el método del factor Alfa, los sucesos especiales se modelan de forma distinta a los sucesos básicos de fallo de causa común que se describen a lo largo del documento. Dichos sucesos especiales son introducidos en el software *RiskSpectrum*® como sucesos básicos de fallos de componentes y se modelan directamente en los árboles de fallo del sistema.

Para definir los sucesos especiales se debe conocer la indisponibilidad media del modelo que se introducirá como valor de probabilidad del parámetro correspondiente a cada suceso en el software *RiskSpectrum*®. Para ello, debe crearse en primer lugar un parámetro probabilidad ( $q$ ) para cada suceso especial que se quiera definir. La probabilidad se calcula como la media de indisponibilidad del modelo según las expresiones Ec. 6.4 y Ec. 6.5, para un modelo de factor Alfa con una política de pruebas no escalonadas, obtenidas a partir de la información contenida en el “*RiskSpectrum Analysis Tools- Theory*

Manual” (Ref. 13) y la NUREG-5485: “Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in PRA” (Ref. 14).

$$Q_{mean} = \sum_{k=N}^m \frac{k}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \frac{\alpha_k}{\alpha_{tot}} \cdot Q_{tot} \cdot \binom{m}{k} \quad (\text{Ec. 6.4})$$

$$\alpha_{tot} = \sum_{k=1}^m k \cdot \alpha_k \quad (\text{Ec. 6.5})$$

La notación utilizada en las expresiones Ec. 6.4 y Ec. 6.5 es la siguiente:

- $m$       número de componentes totales en el Fallo de Causa Común
- $N$       número de componentes que fallan en el Suceso Especial
- $Q_{tot}$     indisponibilidad total para cada evento básico en el Grupo de FCC

La expresión  $\binom{m}{k}$  hace referencia a todas las posibles combinaciones de  $k$  componentes dentro del Grupo de FCC.

Una vez definido el valor medio de probabilidad de cada suceso especial en el software *RiskSpectrum*® se debe crear un Evento Básico de cada suceso especial al cual se le asigna la probabilidad correspondiente en cada caso. Finalmente, los sucesos especiales creados se añaden directamente a los árboles de fallo del sistema al cual hacen referencia, sustituyendo al antiguo fallo de causa común definido con el modelo MLG que ocupa ese mismo lugar en el árbol de fallos y que por tanto debe ser eliminado.

### 6.2.2. Eventos Básicos modelados a Nivel II a potencia

Algunos de los Eventos Básicos que se relacionan con los Grupos de FCC no se modelan a Nivel I a potencia, sino que lo hacen a Nivel II, este hecho implica que los valores de probabilidad obtenidos para los Grupos de FCC que incluyan estos sucesos básicos, no se tienen en cuenta en la realización de la simulación por parte de *RiskSpectrum*®.

Para este proyecto únicamente son relevantes aquellos fallos modelados a Nivel I, ya que son los que conducen a la determinación de la frecuencia de daño al núcleo (FDN), valor final que se quiere determinar. Por tanto, los eventos básicos de fallo de componentes que se modelan a Nivel II no se encontraran en ningún árbol de fallos del modelo sobre el cual se trabaja, de este modo, cuando se realiza la simulación, estos eventos básicos no tienen ningún peso sobre el valor final de la FDN obtenido y, en consecuencia, el fallo de causa común tampoco.

A continuación, se describen los fallos de causa común cuyos fallos de componentes relacionados se modelan a Nivel II y por tanto no tendrán relevancia en el cálculo de la ecuación de daño al núcleo:

- Fallo de causa común a la apertura de las válvulas hidráulicas HCV del Sistema de agua de Alimentación Auxiliar (AL).
- Fallo de causa común al cierre de las válvulas neumáticas de aislamiento de la purga de carcasa de los generadores de vapor del sistema AL.
- Fallo de causa común a la apertura de las válvulas de aspiración de las bombas de evacuación de calor residual desde el sistema de refrigeración del reactor cuando el sistema opera como RHR.
- Fallo de causa común a la apertura de las válvulas motorizadas del Sistema de Inyección de Seguridad de Alta Presión (BJ) en la línea de recirculación mínima de las bombas de inyección de alta presión.
- Fallos de causa común que hacen referencia a las bombas motorizadas del Sistema de Rociado de la Contención (BK).
- Fallos de causa común que hacen referencia a las unidades de refrigeración de las salas de las bombas de rociado de contención del sistema BK.
- Fallos de causa común que hacen referencia a las válvulas motorizadas de aspiración de las bombas de rociado de contención y de las bombas de inyección de baja presión desde los sumideros de contención del sistema BK, así como las válvulas motorizadas en la línea de descarga de las bombas de rociado de contención de dicho sistema.
- Todos los fallos de causa común del Sistema de Agua Enfriada Esencial (GJ).

En el modelo del software utilizado para las MLG estos fallos de causa común tampoco afectan a la ecuación final de daño al núcleo, ya que los eventos básicos de fallo de componentes tampoco intervienen en los árboles de fallos de los sistemas correspondientes. Este hecho nos permite poder hacer una comparación exacta entre los dos modelos de estudio.

### **6.3. Eventos de Fallo de Causa Común**

Una vez asignados los Eventos Básicos de fallo de componentes a los diferentes Grupos de FCC en *Riskspectrum*®, el propio software crea automáticamente los llamados Eventos de FCC.

Cada Evento de FCC hace referencia a una posible combinación de fallo de los componentes que intervienen en el Grupo de FCC, incluyendo la posibilidad de fallo de un único componente del Grupo y el fallo de todos los componentes del Grupo. Es decir, para un grupo de FCC de tres componentes (A, B y C) se crean automáticamente siete Eventos de FCC:

- Fallo del componente A
- Fallo del componente B
- Fallo del componente C
- Fallo de los componentes A-B
- Fallo de los componentes B-C
- Fallo de los componentes A-C
- Fallo de los componentes A-B-C

*RiskSpectrum*® calcula la probabilidad en demanda (fallo/d) de cada Evento de FCC en función de que el suceso básico de FCC del cual forma parte siga una política de pruebas escalonadas (Ec. 6.6) o no escalonadas (Ec. 6.7 y Ec. 6.8):

- Para una política de pruebas escalonadas

$$Q_k = \frac{1}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \alpha_k \cdot Q_{tot} \quad (\text{Ec. 6.6})$$

- Para una política de pruebas no escalonadas

$$Q_k = \frac{k}{\binom{m-1}{k-1}} \cdot \frac{\alpha_k}{\alpha_{tot}} \cdot Q_{tot} \quad (\text{Ec. 6.7})$$

$$\alpha_{tot} = \sum_{k=1}^m k \cdot \alpha_k \quad (\text{Ec. 6.8})$$

Donde  $Q_{tot}$  Indisponibilidad total para cada evento básico en el Grupo de FCC.

$Q_k$  Indisponibilidad de cada Evento de FCC del orden k.

$m$  Número de eventos básicos en el Grupo de FCC.

### 6.3.1. Modelos de indisponibilidad

Teniendo en cuenta que el software proporciona los resultados de probabilidad en demanda de los diferentes Eventos Básicos obtenidos, independientemente del modelo de indisponibilidad que siga el suceso básico de fallo de causa común al cual hacen referencia, se realizan algunos cálculos para obtener la tasa horaria de aquellos sucesos básicos que siguen modelos de indisponibilidad en misión/operación o en espera.



### 6.3.1.1. Modelo de indisponibilidad en demanda

El caso más sencillo y mayoritario se da cuando los componentes que conforman un Grupo de FCC siguen un modelo de indisponibilidad en demanda. En este caso únicamente se define una constante de indisponibilidad ( $q$ ) que sigue una distribución Beta para el fallo individual de componentes.

Al realizar la simulación, *RiskSpectrum*® calcula la probabilidad en demanda (fallos/d) de cada Evento de FCC tal y como se indica en las expresiones Ec. 6.6 y Ec. 6.7, de modo que no es necesario realizar ninguna modificación sobre el resultado obtenido.

Los resultados obtenidos mediante el software *RiskSpectrum*® para la probabilidad de cada Evento Básico de FCC deben coincidir con el producto del factor de causa común correspondiente, calculado para cada uno de ellos, por la probabilidad total del equipo.

### 6.3.1.2. Modelo de indisponibilidad en misión/operación

Igual que sucedía para el método de las MLG, algunos fallos de causa común presentan un modelo de indisponibilidad en misión/operación, debido a que los eventos básicos de fallo de componentes siguen este modelo de sistema. Este modelo se utiliza para modelar el fallo de un componente que debe funcionar durante un tiempo requerido (tiempo de misión) y que no es reparable durante ese tiempo. En este modelo, sin embargo, la indisponibilidad no se da directamente como entrada, sino que se calcula a partir de una tasa de fallo y un tiempo de misión fijo siguiendo una distribución Gamma.

Este hecho implica que los sucesos básicos de fallo de componentes vienen determinados por una tasa de fallo [ $r$ ] y un Tiempo de Misión [ $T_m$ ] que suele ser de 24 horas, de modo que la probabilidad en demanda de fallo total ( $Q_{tot}$ ) se expresa como el producto de la tasa de fallo por el tiempo de misión.

Algunos fallos individuales presentan un tiempo de misión de menos de 24 horas, eso indica que los componentes no se encuentran en funcionamiento durante todo el día:

- Generadores diésel de emergencia (6 horas)
- Bombas de trasiego de gasoil entre los tanques de almacenamiento y el tanque diario de los generadores diésel de emergencia (4 horas).
- Bombas del Sistema de Generadores Diésel de Emergencia (KJ) (6 horas).
- Ventiladores del sistema KJ (6 horas).
- Bombas de transferencia de combustible del sistema de Alimentación Eléctrica no Clase y Generador Diésel Esencial (KZ) (6 horas).
- Ventiladores de la sala del generador diésel esencial (6 horas).

Al realizar la simulación, *RiskSpectrum*® calcula la probabilidad en demanda (fallos/d) de cada Evento de FCC tal y como se indica en las expresiones Ec. 6.6 y Ec. 6.7, de modo que si se quiere obtener el valor de probabilidad como una tasa horaria, debe dividirse el valor obtenido entre el tiempo de misión correspondiente, en horas, de cada suceso básico de fallo de componentes.

Los resultados obtenidos mediante el software *RiskSpectrum*® para la probabilidad de cada Evento Básico de FCC debe coincidir con el producto del factor de causa común correspondiente, calculado para cada uno de ellos, por la probabilidad total del equipo en demanda.

### 6.3.1.3. Modelo de indisponibilidad en espera

Este modelo probado periódicamente es el más complejo dentro de *RiskSpectrum*®. Se utiliza para modelar un fallo de un componente que solo puede ser detectado durante la prueba del mismo. En su forma más simple, en la que solo se especifica una tasa de fallo [r] y un Intervalo de Pruebas [Ti] referente al intervalo de tiempo entre revisiones periódicas de un equipo, se corresponde con un modelo “tradicional” para un componente probado periódicamente siguiendo una distribución Gamma.

La probabilidad en demanda de fallo total para un único componente ( $Q_{tot}$ ) se calcula mediante la siguiente expresión (Ec. 6.9):

$$Q_{tot} = 1 - \frac{1}{r \cdot Ti} \cdot (1 - e^{-r \cdot Ti}) \quad (\text{Ec. 6.9})$$

Se detectan únicamente tres sucesos básicos en los modelos de sistemas que sigan este modelo de indisponibilidad. El tiempo entre pruebas acostumbra a ser de 13140 horas, pero existen algunas excepciones en las que este tiempo se ve reducido:

- Siete baterías del sistema PK modeladas a largo plazo (13140 horas).
- Siete baterías No Clase del sistema PK modeladas a corto plazo (168 horas).
- Tres baterías No clase del sistema KZ (13140 horas).

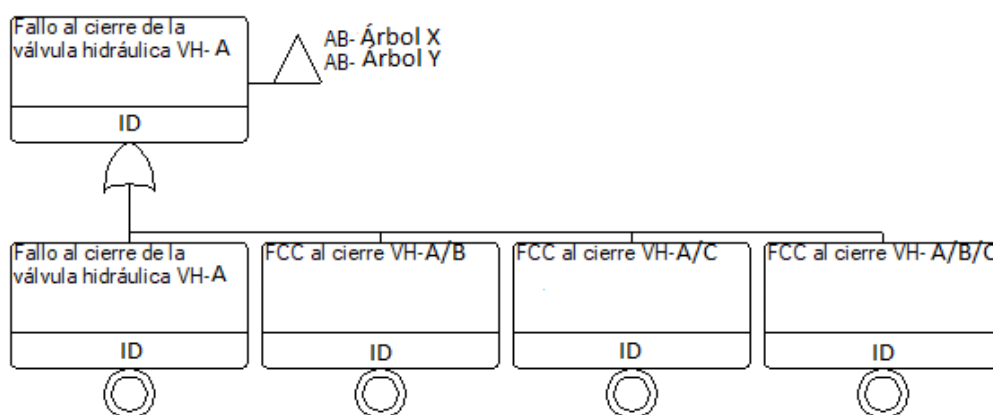
Al realizar la simulación, *RiskSpectrum*® calcula la probabilidad en demanda (fallos/d) de cada Evento de FCC tal y como se indica en las expresiones Ec. 6.6 y Ec. 6.7, de modo que si se quiere obtener el valor de probabilidad horaria, debe realizarse directamente el producto de la tasa de fallo de componentes [r] por el factor de causa común calculado en cada caso.

### 6.3.2. Árboles de Fallos de los FCC

Además de los Eventos de FCC, *RiskSpectrum*® también crea automáticamente los Árboles de Fallos de los fallos de causa común una vez definidos los Grupos de FCC y los Eventos Básicos correspondientes a cada grupo.

Para cada Evento de FCC que hace referencia al fallo de un único componente del Grupo, se crea un Árbol de Fallos de FCC que sigue la siguiente estructura: el cabecero del Árbol hace referencia al Evento de FCC del fallo de un único componente del Grupo y la puerta lógica es del tipo OR. De esta puerta cuelgan las diferentes combinaciones de componentes descritas como Eventos de FCC que incluyen el componente al cual se refiere el Árbol de Fallos de FCC. Además, de la misma puerta lógica OR también cuelga de nuevo el Evento de FCC que actúa como cabecero. Finalmente, el cabecero del Árbol está relacionado con el Árbol o Árboles de fallos de sistemas definidos en el modelo de *Riskspectrum*® en el que están definidos los Eventos Básicos que hacen referencia a el fallo concreto.

A modo de ejemplo y para ver más detalladamente la estructura de estos Árboles de Fallos de FCC se utiliza un Grupo de FCC de tres válvulas hidráulicas (A, B y C) del Sistema de Aislamiento y Alivio de los Generadores de Vapor (AB) que presentan un fallo de causa común al cierre. En este caso se crean tres árboles de fallos, uno para cada una de las válvulas del sistema:



**Figura 6.1.** Árbol de Fallos de FCC al cierre de una válvula hidráulica (Fuente: *RiskSpectrum*®)

Los dos Árboles de Fallos de FCC que hacen referencia a los dos componentes restantes (B y C) siguen la misma estructura, teniendo en cuenta que los Eventos de FCC que intervienen en el Árbol son los que hacen referencia al componente en cuestión que aparece en el cabecero del mismo.

El nombre de los componentes y los identificadores de cada suceso básico del Árbol de Fallos de FCC, al igual que el identificador de los Árboles de Fallo, han sido modificados u omitidos por cuestiones de confidencialidad de la CN.

## 6.4. Árboles de Fallos de sistemas e Iniciadores

Los Árboles de Fallos de los diferentes Sistemas e Iniciadores están definidos en el modelo de *RiskSpectrum*® proporcionado por la Central Nuclear siguiendo el método de las MLG, por ello, es necesario realizar algunas modificaciones sobre éstos por tal de adaptar el modelo existente al modelo del Factor Alfa.

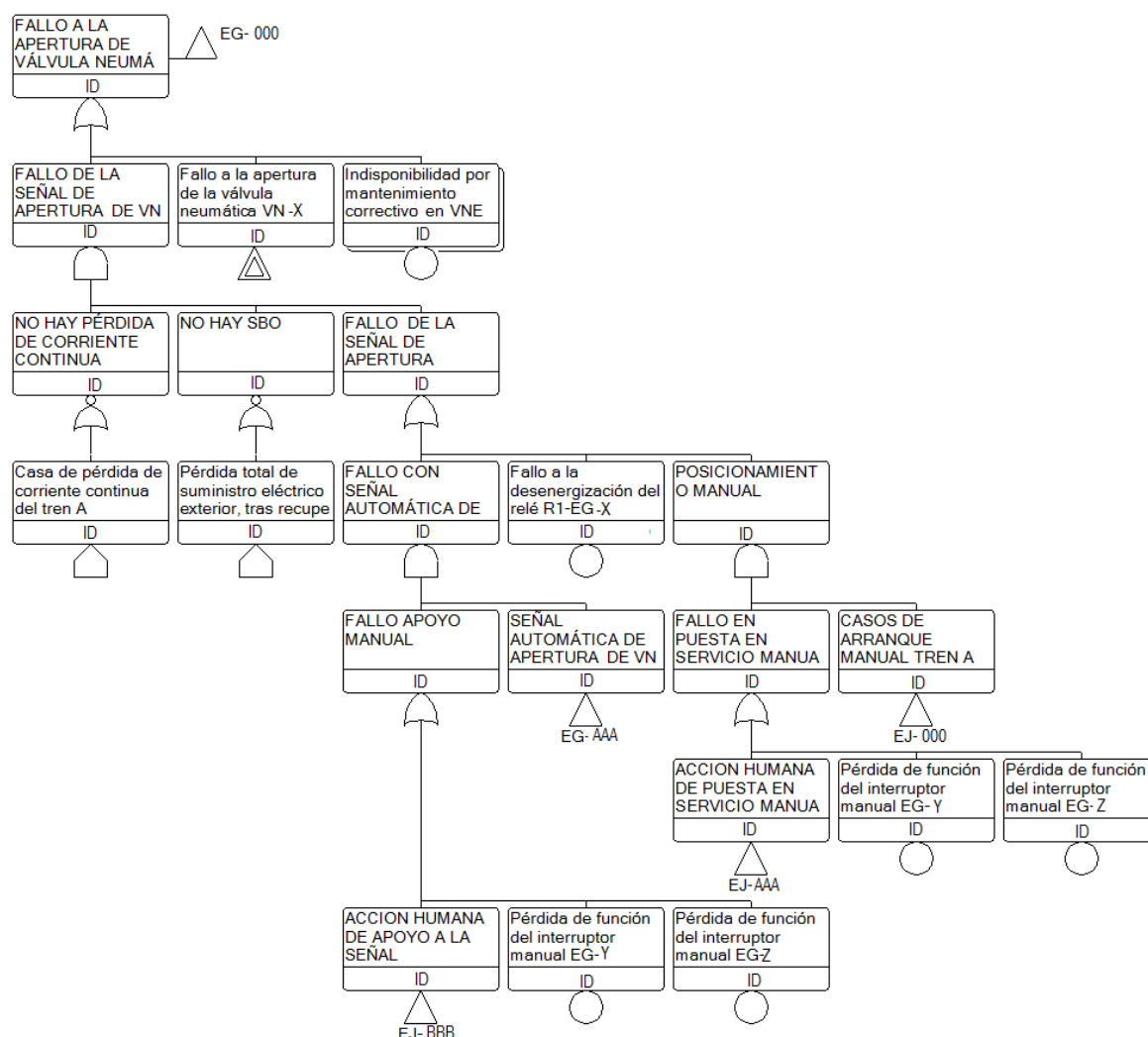
Con la creación de los Grupos de FCC en el modelo proporcionado por la central, los Eventos Básicos de fallo de componentes y los Eventos Básicos de FCC ya quedan directamente relacionados con los Árboles de Fallos de sistemas mediante los Árboles de Fallos de FCC. Este hecho indica que los Árboles de Fallos de sistemas deben ser modificados para que los antiguos sucesos básicos de FCC, definidos siguiendo el modelo de las MLG, desaparezcan. Si no se eliminaran los antiguos FCC de los Árboles de Fallos de sistemas, estarían apareciendo por duplicado y por tanto se multiplicaría su efecto en la EFDN.

Para eliminar los antiguos sucesos básicos de FCC de los Árboles de Sistemas se debe tener en cuenta la lógica de cómo están colocados y relacionados con el resto de los Eventos Básicos del árbol. La mayoría de los sucesos básicos de FCC se encuentran asociados a un conjunto de fallos del sistema que llevan a ese FCC, de modo que simplemente debe eliminarse del árbol el suceso básico que hace referencia al FCC.

En cambio, existen otros sucesos básicos de FCC que están asociados a un suceso casa y que cuelgan de una puerta lógica AND de fallo de causa común. Para estos casos, se debe borrar toda la rama que empieza con la puerta lógica AND, incluyendo el propio fallo de causa común y los sucesos casa asociados.

A continuación, se muestra un ejemplo de un Árbol de Fallos del Sistema de Refrigeración de Componentes y enfriamiento del Edificio de Contención (EG). El nombre de los componentes y los identificadores de cada suceso básico del Árbol de Fallos, al igual que el identificador de los Árboles de Fallo a los que se refiere, han sido modificados u omitidos por cuestiones de confidencialidad de la Planta. De color rojo, se ha enmarcado la rama que debe eliminarse del Árbol de Fallos para cumplir con las especificaciones del método del Factor Alfa.





**Figura 6.3.** Árbol de Fallos del sistema EG para Factor Alfa (Fuente: RiskSpectrum®)

En los Árboles de Fallos de Sistemas e Iniciadores, los Eventos Básicos de fallo de componentes que se encuentran dentro de algún grupo de FCC están relacionados mediante una puerta de doble transferencia con el Árbol de Fallos de FCC del cual forman parte. De este modo es posible ver las distintas relaciones entre los Árboles de Fallos de forma gráfica y más clara.

#### 6.4.1. Fallos de causa común al arranque de bombas de 6,25 kV y enfriadores del GJ

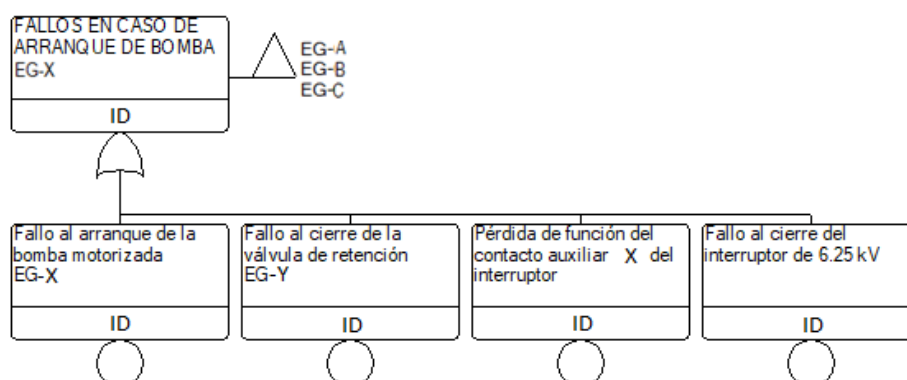
En el método del Factor Alfa, a diferencia de lo establecido para el método de las MLG para el fallo de causa común al arranque tanto de las bombas de 6,25 kV como de los enfriadores del Sistema de Agua Enfriada Esencial (GJ), se modela de forma conjunta el fallo al arranque del componente y al cierre del interruptor de 6,25 kV correspondiente, debido a que los datos de los factores Alfa utilizados contemplan tanto el fallo de la bomba o el enfriador como de su interruptor. Este hecho implica que

los Eventos Básicos que se deben añadir al Grupo de FCC son únicamente los que hacen referencia al fallo del componente en cuestión.

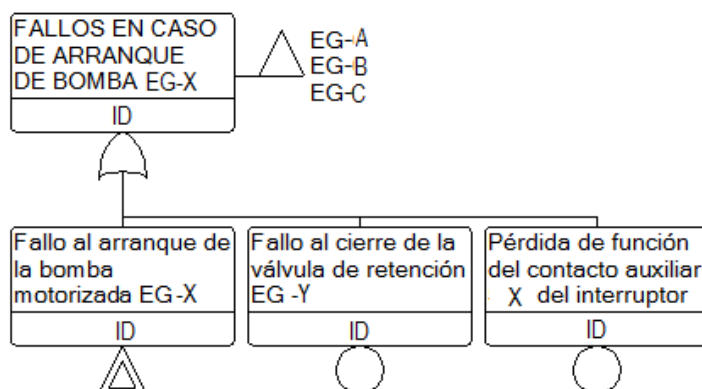
Debido a que la probabilidad calculada para los Eventos Básicos de fallo de componentes en el modelo de MLG no contempla el fallo al cierre del interruptor, se debe modificar este dato en el modelo del Factor Alfa. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha hecho una aproximación sumando la probabilidad de fallo al cierre de los interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque del componente al cual haga referencia. Ambos datos de probabilidad de cada componente venían determinados en el modelo de las MLG.

Por otro lado, en los Árboles de Fallos de sistemas, aparece modelado juntamente con el fallo al arranque del componente, el cierre del interruptor de 6,25 kV correspondiente. De modo que en estos casos no únicamente debe eliminarse del árbol el suceso básico de FCC del componente o la rama del FCC, sino que también aquel suceso que hace referencia al fallo al cierre del interruptor y que se relaciona con el suceso básico de fallo del componente.

A modo de ejemplo, se observa el aspecto de un Árbol de Fallos del Sistema de Refrigeración de Componentes y enfriamiento del Edificio de Contención (EG), antes y después de las modificaciones realizadas para ser adaptado al modelo del Factor Alfa.



**Figura 6.4.** Árbol de Fallos del sistema EG para MLG con interruptor (Fuente: RiskSpectrum®)



**Figura 6.5.** Árbol de Fallos del sistema EG para MLG con interruptor (Fuente: RiskSpectrum®)

Se puede observar en el Árbol de Fallos de la Figura 6.5. que el Evento Básico de fallo al arranque de la bomba motorizada del sistema EG aparece marcado con una puerta de doble transferencia, este hecho indica que este Evento Básico está relacionado con un Árbol de Fallos de FCC ya que forma parte de un Grupo de FCC. El fallo al arranque del interruptor se elimina ya que su probabilidad de fallo ha sido contemplada dentro de la probabilidad de fallo al arranque de la bomba del EG.

El nombre de los componentes y los identificadores de cada suceso básico del Árbol de Fallos, al igual que el identificador de los Árboles de Fallo a los que se refiere, han sido modificados u omitidos por cuestiones de confidencialidad de la Planta.

## 6.5. Resultados obtenidos con el método del Factor Alfa

En primer lugar, deben realizarse las modificaciones explicadas a lo largo del capítulo 6. “Metodología de obtención de los valores numéricos de los SB de FCC mediante el método del Factor Alfa”, para llevar a cabo el cambio de metodología en los análisis de FCC del APS de la CN. Finalmente, se realiza la simulación correspondiente a esta nueva edición en el software *RiskSpectrum*®.

Las modificaciones realizadas implican:

- Modificación de los parámetros de los 97 sucesos básicos de FCC identificados, utilizando el documento de referencia para la estimación. Para ello es necesario en primer lugar identificar los 97 FCC dentro del sistema correspondiente para conocer su función.
- Creación de los 97 Grupos de FCC en el software *RiskSpectrum*®. Una vez creados, se relaciona cada uno de ellos con los Eventos Básicos que forman parte del suceso, lo que implica un total de 319 Eventos Básicos.



- Creación de los parámetros Alfa en el software *RiskSpectrum*® con todas las posibles combinaciones, lo que implica un total de 155 parámetros definidos. Cada Grupo de FCC se debe relacionar con sus parámetros correspondientes.
- Cálculo de los factores de causa común para todos los SB de FCC definidos. Se calculan tantos factores de causa común en un Grupo como componentes tenga dicho Grupo de FCC. Este cálculo se describe en el capítulo 6.2. “Creación de los Grupos de FCC en *RiskSpectrum*®”.
- Cálculo de probabilidades de los dos Sucesos Especiales definidos. Una vez calculada la probabilidad y creada en *RiskSpectrum*®, se crean también los Sucesos Especiales como Eventos Básicos en el software, que se relacionan con su probabilidad correspondiente.
- Eliminación de los antiguos Eventos Básicos de FCC que se encontraban en los Árboles de Fallos de sistemas e iniciadores. En total se han eliminado 350 Sucesos Básicos de FCC de un total de 269 Árboles de Fallos.
- Cálculo de la nueva probabilidad de fallo total para aquellos componentes que incluyen el fallo al cierre del interruptor, tal y como se expresa en el capítulo 6.4.1. “Fallos de causa común al arranque de bombas de 6,25 kV y enfriadores del GJ” y modificación de la probabilidad del Evento Básico en *RiskSpectrum*®.
- Eliminación de los Eventos Básicos que hacen referencia al cierre del interruptor de los FCC al arranque de las bombas motorizadas de 6,25 kV y de los enfriadores del GJ, de los Árboles de Fallo de sistemas e iniciadores correspondientes.

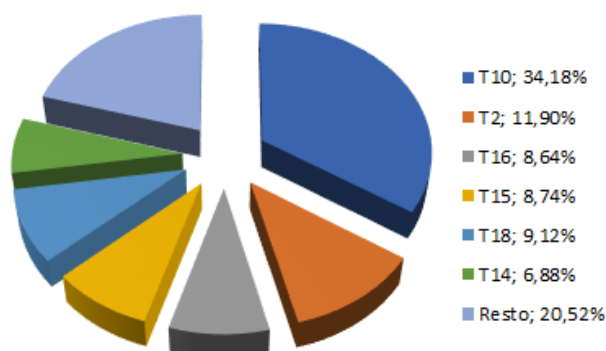
Una vez realizadas las modificaciones anteriores, se realiza la simulación de la Ecuación de la Función de Daño al Núcleo (EFDN) del *Consequence Analysis Case* fijado el límite de truncación a  $1\text{E}-10/\text{año}$  como referencia. Esta simulación se realiza por módulos, por lo tanto, la ecuación se somete a un postproceso en el *MCS Analysis Case* en el que se vuelve a truncar por  $1\text{E}-10/\text{año}$ . El hecho de truncar la ecuación por este valor implica una reducción de la cantidad de cálculos a realizar en los modelos de análisis posteriores manteniendo la fiabilidad de los resultados. Se truncan aquellos conjuntos mínimos de fallo que tiene una frecuencia muy baja, inferior a  $1\text{E}-10/\text{año}$ .

El valor final obtenido de la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN) es de  $8,31\text{E}-06/\text{año}$ , fijado el límite de truncación a  $1\text{E}-10/\text{año}$  como referencia. Este nuevo valor de la FDN obtenido implica un ligero incremento del 0,73% respecto al valor que se había obtenido utilizando el método de las MLG (ver capítulo 5.6).

La Tabla A.3 del Anexo A muestra los 120 primeros conjuntos mínimos de fallo que constituyen la EFDN de esta edición, una vez realizadas las modificaciones pertinentes en los que a los FCC respecta. Para esta edición, se obtiene un valor de 7585 Eventos Básicos MCS guardados, que hace referencia a la sucesión de eventos que llevan a daño al núcleo. Este número es un 4,74% mayor al que se obtenía

para el método de las MLG (ver capítulo 5.6), debido a que ahora se tienen en cuenta todas las posibles combinaciones de fallo de los Grupos de FCC y que influyen en la EFDN.

La Tabla A.4. del Anexo A presenta los iniciadores ordenados según su contribución a la FDN e indicando también su Frecuencia de ocurrencia (Fo) y su Probabilidad Condicionada de Daño al Núcleo (PCDN), calculada como el cociente entre la FDN y la Fo, por lo que es una aproximación que puede estar desvirtuada por la truncación.



**Figura 6.6.** Contribución a la FDN de los principales Sucesos Iniciadores (Fuente: elaboración propia)

En el gráfico de la Figura 6.6 se muestra la contribución a la FDN de los iniciadores más importantes; es equivalente a los valores de FDN de la Tabla A.4. del Anexo A, aunque aquí están agrupados en “Resto” los que contribuyen en menos de un 5% a la FDN. Destaca en primer lugar el Iniciador T10, con una contribución del 34,18%, seguido del Iniciador T2 con un 11,90%. Los resultados varían mínimamente respecto a los obtenidos para la edición anterior con el método de las MLG, debido al cambio de metodología para el análisis de los FCC, pero no es relevante dado que sus contribuciones están muy próximas entre sí (véase Figura 5.1). El orden de importancia de los iniciadores varía en el T15, T18 y T16, ya que para la edición anterior el Iniciador T15 presentaba el porcentaje menor de los tres y ahora representa el mayor, así como el Iniciador T16 representa el menor porcentaje de los tres y anteriormente presentaba el mayor porcentaje de los tres.

La frecuencia obtenida en la simulación de un Suceso Iniciador depende de la sucesión de eventos que llevan a dañar el núcleo y que empiezan por dicho SI, es por ello por lo que se producen variaciones en la frecuencia de los Iniciadores en función del método utilizado, ya que la sucesión de eventos que llevan a dañar al núcleo también varía. Sin embargo, la frecuencia de ocurrencia sigue siendo la misma en ambos modelos analizados, ya que no se realizan modificaciones en los Eventos Básicos definidos como Sucesos Iniciadores, sino que únicamente se estudia cómo afecta a la frecuencia de los SI la variación en la definición y cálculo de los FCC.

## 7. Valores numéricos de los sucesos básicos de FCC mediante el método del Factor Alfa

Se presenta a continuación, la obtención del valor numérico de indisponibilidad asociado a cada uno de los sucesos básicos de fallo de causa común aplicando los métodos descritos a lo largo del capítulo 6: Metodología de obtención de los valores numéricos de los SB de FCC mediante el método del Factor Alfa. Para cada uno de los FCC se determinan los parámetros Alfa y los factores de causa común correspondientes que han sido calculados. Finalmente, se presenta una tabla que muestra, además, los resultados obtenidos para la probabilidad de los diferentes sucesos básicos de fallo de causa común mediante el software *RiskSpectrum*®.

### 7.1. Sucesos de Fallo de Causa Común en Modelos de Sistemas

Se expone en este apartado y para cada uno de los sistemas modelados en el APS de la CN de estudio, el cálculo explícito de los valores numéricos de FCC incluidos en los modelos de los mencionados sistemas.

Los diferentes sistemas modelados para los que se han detectado Sucesos básicos de FCC se indican a continuación:

- Aislamiento y Alivio de los Generadores de Vapor (Sistema AB)
- Agua de Alimentación auxiliar (Sistema AL)
- Alivio del Presionador (Sistema BB)
- Inyección de Baja Presión y Evacuación de Calor Residual (Sistema BC)
- Inyección de Seguridad de Alta Presión (Sistema BJ)
- Sistema de Rociado de la Contención (Sistema BK)
- Refrigeración de Componentes y enfriamiento del Edificio de Contención (Sistema EG)
- Agua de Salvaguardias Tecnológicas (Sistema EJ)
- Agua Enfriada Esencial (Sistema GJ)
- Generadores Diésel de Emergencia (Sistema KJ)
- Distribución de Corriente Alterna (Sistema PB)
- Distribución de 125 Vcc (Clase 1E) y 118 Vca (Vital y Clase 1E) (Sistema PK)
- Disparo del Reactor (Sistema QV)
- Aislamiento de Contención (Sistema SM)
- Aire Comprimido (sistema KA)
- Alimentación Eléctrica no Clase y Generador Diésel Esencial (Sistema KZ)

### 7.1.1. Sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AB

El sistema de vapor principal es parte del sistema de generación de vapor del Reactor de Agua Presurizada (PWR) que transfiere calor sensible y de descomposición desde el sistema de refrigeración del reactor a la turbina y los auxiliares de vapor durante el funcionamiento normal. El vapor abandona el generador a través de una línea de vapor en la parte superior de dicho generador de vapor. Cada línea de vapor tiene una válvula de aislamiento de vapor principal (MSIVs) fuera del edificio de contención. Normalmente, las líneas de vapor se unen fuera del edificio de contención a través de un encabezado de conexión cruzada y luego se dividen en dos cabeceras de vapor principales que suministran vapor principal y auxiliar a la turbina y otros auxiliares.

Las válvulas de aislamiento del vapor principal del PWR son válvulas de globo típicamente accionadas hidráulicamente y su función es aislar el flujo de vapor hacia las turbinas. La misión del APS para el sistema de vapor principal es proporcionar vapor a la turbina y los auxiliares de vapor. El límite del evento para las válvulas de aislamiento del sistema principal de vapor está definido como cualquier condición que no permite el control del flujo de vapor desde los generadores de vapor.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema AB de la CN de estudio que hace referencia a las válvulas de aislamiento de vapor principal:

Suceso básico	C©VH-AB26ABC		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula hidráulica	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS DE AISLAMIENTO DE VAPOR PRINCIPAL VHAB26A/B/C				
Probabilidad de fallo total			7.83E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común		1.63E-5/d	origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.10.1.2: “PWR MSIV FAIL TO CLOSE”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,38E-01	5,590E+01
$\alpha_2$	5,40E-02	3,219E+00
$\alpha_3$	7,42E-03	4,422E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$
1,07E+00	8,78E-01	5,05E-02	2,08E-02

Por otro lado, hay que contemplar las válvulas de alivio accionadas eléctricamente (PORVs) del generador de vapor que actúan para reducir la presión en el lado secundario de los generadores de vapor antes de que se levanten las válvulas de alivio de seguridad. Las PORVs son accionadas por una fuente motriz externa como un motor eléctrico, aire, nitrógeno, hidráulica o solenoide eléctrico.

Los límites incluyen la válvula, el accionamiento, cualquier línea de detección y el equipamiento auxiliar necesario para abrir la válvula o verificar su posición. Una operación satisfactoria de una PORV se define como la apertura en respuesta a la alta presión del sistema y el posterior cierre cuando la presión se ha reducido.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AB de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico		F©PCV-AB01ABC		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Válvula hidráulica		Modo de fallo	Pérdida de función		Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CONTROL DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN DE LOS GENERADORES DE VAPOR PCVAB01A/B/C					
Tasa de fallo total			8.90E-4/h				
Tasa de fallo de causa común			3.02E-5/h		origen		RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.9.2.2: “PWR MAIN STEAM PORV FAIL TO CLOSE”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	5,414E+01
$\alpha_2$	1,52E-02	8,387E-01
$\alpha_3$	4,84E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$
1,03E+00	9,32E-01	1,48E-02	1,42E-02

Las válvulas de seguridad de los generadores de vapor forman parte del sistema secundario de refrigeración. Estas válvulas proporcionan protección al generador de vapor contra sobrepresiones y capacidad adicional de eliminación de calor. En el sistema de la CN de estudio existen tres generadores de vapor con cinco válvulas de seguridad cada uno de ellos. Una operación satisfactoria para este tipo de válvulas se obtiene cuando se abren en respuesta a una alta presión del sistema y se vuelven a cerrar cuando la presión se ha reducido.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AB de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de válvulas. Debido a la complejidad y la indisponibilidad de datos específicos para dichos sucesos básicos, deciden tratarse como sucesos especiales y no como grupos de FCC:

Suceso Especial	ABVSAB4D15X		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula de seguridad	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes	4 ó +/-15
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE CUATRO O MÁS DE LAS QUINCE VÁLVULAS DE SEGURIDAD DE LOS GENERADORES DE VAPOR				
Probabilidad de fallo total			1.29E-3/d		
Probabilidad del suceso especial		1.10E-4/d	origen	Cálculo	

A la inexistencia de datos específicos, se le debe añadir la inexistencia de datos genéricos para una población superior a ocho componentes en el documento preferente para la determinación de los parámetros Alfa, el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*”, de modo que la U.S NRC ha desarrollado unas distribuciones genéricas a priori para sucesos básicos de FCC hasta una población de 16 componentes en un Grupo de FCC.

Factor Alfa	Media	Factor Alfa	Media
$\alpha_1$	9,90E-01	$\alpha_9$	4,84E-04
$\alpha_2$	2,80E-03	$\alpha_{10}$	3,69E-04
$\alpha_3$	1,66E-03	$\alpha_{11}$	2,25E-04
$\alpha_4$	1,23E-03	$\alpha_{12}$	1,10E-04
$\alpha_5$	1,03E-03	$\alpha_{13}$	4,43E-05
$\alpha_6$	9,24E-04	$\alpha_{14}$	1,21E-05
$\alpha_7$	8,20E-04	$\alpha_{15}$	1,99E-06
$\alpha_8$	6,63E-04		

El suceso especial que hace referencia al fallo de causa común a la apertura de cuatro o más de las quince válvulas de seguridad de los GV se define como un evento básico, cuya probabilidad media se calcula mediante las expresiones (Ec. 6.4 y Ec. 6.5) expuestas en el apartado 6.2.1 de este informe, para una política de pruebas no escalonadas y partiendo de la probabilidad al fallo de cuatro componentes.

$\alpha_{tot}$	$Q_{mean}$
1,04E+00	1,10E-04

Suceso especial	ABVSAB2D5X		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula de seguridad	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes	2 ó +/-5
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE DOS O MÁS DE ENTRE CINCO VÁLVULAS DE SEGURIDAD EN UN GENERADOR DE VAPOR				
Probabilidad de fallo total			1.29E-3/d		
Probabilidad del suceso especial		1.29E-4/d	origen	Cálculo	

En este caso, se dispone de valores genéricos para una población de cinco componentes en el documento “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*”, aun así, como se trata del mismo tipo de

componente al que se hacía referencia en el suceso básico de FCC anterior, se utilizan los mismos valores genéricos para una población de cinco componentes, por tal de ser consecuentes y obtener unos resultados más consistentes.

Factor Alfa	Media	Factor Alfa	Media
$\alpha_1$	9,90E-01	$\alpha_4$	1,23E-03
$\alpha_2$	2,80E-03	$\alpha_5$	1,03E-03
$\alpha_3$	1,66E-03		

El suceso especial que hace referencia al fallo de causa común a la apertura de dos o más de entre cinco válvulas de seguridad en un GV se define como un evento básico, cuya probabilidad media se calcula mediante las expresiones (Ec. 6.4 y Ec. 6.5) expuestas en el apartado 6.2.1 de este informe, para una política de pruebas no escalonadas y partiendo de la probabilidad al fallo de dos componentes. Además, se debe tener en cuenta que el valor de probabilidad media obtenido hace referencia únicamente a un GV, de manera que deberá multiplicarse por tres este valor para encontrar la probabilidad media total de los tres generadores de vapor.

$\alpha_{tot}$	$Q_{mean}$	$Q_{mean} \times 3$
1,01E+00	4,29E-05	1,29E-04

### 7.1.2. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema AL

El sistema de agua de alimentación auxiliar proporciona una fuente de agua de alimentación a los generadores de vapor para eliminar el calor de descomposición del sistema de refrigeración del reactor (RCS) cuando el sistema principal de agua de alimentación no está disponible, y la presión del RCS es demasiado elevada para permitir la eliminación de calor mediante el sistema de eliminación de calor residual (RHR).

El sistema de agua de alimentación auxiliar (AFW) se encuentra normalmente en espera. Las bombas motorizadas se inician en una de las siguientes condiciones: una señal de inyección de seguridad, un nivel muy bajo en cualquier generador de vapor, pérdida de las dos bombas principales de agua de alimentación, una pérdida de energía fuera del sitio o por iniciación manual.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AL de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico	R©BM-ALP01AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR ALP01A/B				
Tasa de fallo total			5.67E-4/h		
Tasa de fallo de causa común			1.54E-5/h	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.6.3: “*AFW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN SPAR: MDP-FR-AFW*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,73E-01	2,485E+01
$\alpha_2$	2,74E-02	7,012E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas motobombas se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,73E-01	2,74E-02

Suceso básico	S©BM-ALP01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR ALP01A/B				
Probabilidad de fallo total	9.79E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.05E-4/d	origen	RiskSpectrum®		

En el modelo del sistema AL, para las bombas motorizadas mencionadas en la descripción del suceso básico de FCC, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se modelan conjuntamente los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema de Agua de Alimentación Auxiliar. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema AL	9,79E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	2,669E-03 /d

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.6.1: “*AFW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START SPAR: MDP-FS-AFW*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.



Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,60E-01	4,701E+01
$\alpha_2$	3,95E-02	1,935E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas motobombas se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,60E-01	3,95E-02

El flujo de agua de alimentación hacia los generadores de vapor está controlado por válvulas operadas por aire, hidráulicas o motorizadas desde la sala de control principal. La salida de la bomba motorizada está controlada por una válvula reguladora neumática o hidráulica en la descarga de la bomba.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema AL de la CN de estudio que hacen referencia a las válvulas hidráulicas:

El primer suceso básico se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico		O@HCVAL05ABCDEF		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula hidráulica	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC		6	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS HC-VAL05A/B/C/D/E/F					
Probabilidad de fallo total			6.68E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.91E-7/d	origen		RiskSpectrum®	

Se utilizan los valores genéricos suministrados por el documento “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution” para una población de seis componentes, debido a que no existen valores de los parámetros Alfa para este tipo de componente que hagan referencia a un fallo a la apertura.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-02	4,209E+03
$\alpha_2$	7,32E-03	3,140E+01
$\alpha_3$	5,15E-03	2,209E+01
$\alpha_4$	3,26E-03	1,398E+01
$\alpha_5$	1,85E-03	7,937E+00
$\alpha_6$	4,94E-04	2,115E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$
1,04E+00	9,47E-01	2,82E-02	1,49E-03	1,26E-03	1,78E-03	2,86E-03

<b>Suceso básico</b>	F©PCV-AL15AB		<b>Modelo indisponibilidad</b>		Misión
<b>Tipo de componente</b>	Válvula hidráulica	<b>Modo de fallo</b>	Pérdida de función	<b>Nº componentes en grupo FCC</b>	2
<b>Descripción</b>	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CONTROL DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN A LA DESCARGA DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR PCVAL15A/B				
<b>Tasa de fallo total</b>	2.80E-6/h				
<b>Tasa de fallo de causa común</b>	1.66E-7/h		<b>origen</b>	RiskSpectrum®	

Igual que para el caso anterior, se utilizan los valores genéricos del documento “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”. En este caso los parámetros Alfa obtenidos son para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-03	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,03E+00	9,41E-01	5,92E-02

Por otro lado, también se tienen en cuenta las válvulas motorizadas del sistema de AFW cuya función es permitir el flujo del agua de alimentación hacia los generadores de vapor o bien aislar el flujo a generadores de vapor individuales. Todas las válvulas sirven como un límite de contención del sistema y deberían cerrarse para aislar las fugas.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema AL de la CN de estudio que hace referencia a este tipo de válvulas:

<b>Suceso básico</b>	O©VM-AB25AC		<b>Modelo indisponibilidad</b>		Demanda
<b>Tipo de componente</b>	Válvula motorizada	<b>Modo de fallo</b>	A la apertura	<b>Nº componentes en grupo FCC</b>	2
<b>Descripción</b>	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS DE SUMINISTRO DE VAPOR A LA TURBOBOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR VMAB25A/C				
<b>Probabilidad de fallo total</b>	9.07E-4/d				
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>	2.20E-5/d		<b>origen</b>	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.5.2: “AFW MOV FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,76E-01	2,558E+01
$\alpha_2$	2,42E-02	6,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,76E-01	2,42E-02

Dentro del sistema AL deben contemplarse también las válvulas neumáticas, cuya función es controlar el flujo de agua de alimentación hacia los generadores de vapor desde las bombas de AFW y, en algunas plantas, suministrar vapor a la bomba accionada por turbina.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema AL de la CN de estudio que hace referencia a este tipo de válvulas:

Dicho suceso básico se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	C@VN-BM03ABC		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS DE AISLAMIENTO DE LA PURGA DE CARCASA DE LOS GENERADORES DE VAPOR VNBM03A/B/C				
Probabilidad de fallo total			7.06E-5/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.03E-6/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.4.3.3: “AFW AOV FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	5,120E+01
$\alpha_2$	2,54E-02	1,339E+00
$\alpha_3$	5,06E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$
1,04E+00	9,36E-01	2,45E-02	1,47E-02

### 7.1.3. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BB

El sistema de refrigeración primario en un reactor PWR consiste en las tuberías y otros componentes necesarios para eliminar el calor del núcleo del reactor. Parte de este sistema es el presionador, que sirve para regular la presión del sistema, tanto elevándola para mantener el agua sólida en la trayectoria del flujo del presionador como bajándola para controlar las operaciones de la planta y evitar que el sistema se presurice. Las PORV se utilizan para controlar la presión y las válvulas de seguridad se utilizan para fines de protección de sobrepresión.

Las válvulas de alivio del presionador actúan automáticamente para reducir la presión en caso de que esta aumente. Una operación satisfactoria para este tipo de válvulas está definida como la apertura en respuesta a la alta presión del sistema y el cierre cuando la presión se ha reducido.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema BB de la CN de estudio que hace referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico		O©VSB0607		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula de alivio del presionador	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DEL PRESIONADOR VSB06 (PCV444A) Y VSB07 (PCV445)					
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común			3.39E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.9.3.1: “PRESSURIZER PORVS FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,86E-01	3,121E+01
$\alpha_2$	1,44E-02	4,545E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,01E+00	9,72E-01	2,84E-02

Otro tipo de válvulas para tener en cuenta para el correcto funcionamiento del sistema BB son las válvulas motorizadas de bloqueo que se utilizan para aislar las fugas del sistema de refrigeración primario a través de las PORVs.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema BB de la CN de estudio que hace referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico	O@VM-BB01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS DE AISLAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE ALIVIO DEL PRESIONADOR VMBB01A/B				
Probabilidad de fallo total	9.07E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	2.23E-5/d	origen	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.9.1: “PRESSURIZER PORV BLOCK MOVES FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,75E-01	1,725E+01
$\alpha_2$	2,46E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,86E-01	2,46E-02

Por último, se contemplan las válvulas de seguridad del presionador cuya función es prevenir la planta primaria de sobrepresión. Este tipo de válvulas son mecánicas y no requieren de alimentación externa o control para operar. Este tipo de válvulas se abren en respuesta a un incremento de la presión del sistema y vuelven a cerrarse una vez la presión se ha reducido.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema BB de la CN de estudio que hace referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico	O@BB0252627		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula de seguridad	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS 3 VÁLVULAS DE SEGURIDAD DEL PRESIONADOR BB025/26/27				
Probabilidad de fallo total	2.06E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común	4.79E-5/d	origen	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.8.4.1: “PWR

*PRESSURIZER CODE SAFETIES FAIL TO OPEN*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,67E-01	1,275E+01
$\alpha_2$	2,51E-02	8,337E-01
$\alpha_3$	8,06E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$
1,04E+00	9,29E-01	2,41E-02	2,32E-02

#### 7.1.4. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BC

El sistema de evacuación del calor residual (RHR) es un subsistema del sistema de emergencia de refrigeración del núcleo (ECCS) la función del cual es inyectar refrigerante de emergencia para mantener el inventario de refrigerante del reactor y proporcionar una eliminación adecuada del calor a largo plazo después de un accidente por pérdida de refrigerante (LOCA). Las bombas de evacuación del calor residual inyectan directamente en ramas frías del lazo primario y se pueden realinear para inyectar en ramas calientes.

El componente principal de una bomba de evacuación del calor residual es la bomba en ella misma. Normalmente se encuentra en modo de espera y se inicia mediante sensores que accionan el interruptor del circuito al conductor, que a su vez operará la bomba. Estas bombas también se pueden iniciar manualmente mediante interruptores de control remoto. Los fallos de funcionamiento de la bomba se consideran fallos al arranque o fallos en operación. La bomba falla al arranque cuando no logra alcanzar el flujo y la presión nominales. Una vez la bomba haya alcanzado el flujo y la presión nominales y se observe una falla, se considera que la bomba ha fallado en su misión de funcionamiento.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BC de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico		R©BCP01AB		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada		Modo de fallo	En operación		Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL BCP01A/B					
Tasa de fallo total			5.17E-5/h				
Tasa de fallo de causa común			2.74E-6/h		origen		RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.10.3: “PWR RHR

MDP FAIL TO RUN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,47E-01	2,565E+01
$\alpha_2$	5,30E-02	1,435E+00

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,47E-01	5,30E-02

Suceso básico	S©BCP01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL BCP01A/B				
Probabilidad de fallo total			4.41E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			7.95E-5/d	origen	RiskSpectrum®

En el modelo del sistema BC, para las bombas motorizadas mencionadas en la descripción del suceso básico de FCC, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se modelan conjuntamente los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema RHR. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema RHR	4,41E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	2,13E-03 /d

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.10.1: “PWR RHR MDP FAIL TO START” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,63E-01	4,138E+01
$\alpha_2$	3,73E-02	1,605E+00

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,63E-01	3,73E-02

Se deben tener en cuenta el gran número de válvulas motorizadas que intervienen en este complejo modelo de sistema y que se usan en un gran número de aplicaciones diferentes. Todas las válvulas sirven como límite de contención del sistema y deberían cerrarse para aislar las posibles fugas.

Se detectan seis sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BC de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de válvulas:

El primer suceso básico se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	O@VM-BC05AB6AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL DESDE EL SISTEMA DEREFRIGERACIÓN DEL REACTOR CUANDO EL SISTEMA OPERA COMO RHR: VÁLVULAS VMBC05A/B Y VMBC06A/B				
Probabilidad de fallo total			9.07E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común		1.19E-5/d	origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.2: “PWR RHR MOV FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,71E-01	4,218E+01
$\alpha_2$	1,97E-02	1,278E+00
$\alpha_3$	6,24E-03	4,043E-01
$\alpha_4$	3,43E-03	2,227E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
1,04E+00	9,31E-01	1,26E-02	5,99E-03	1,32E-02



Suceso básico		C@VM-BC05AB6AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC		4	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC05A/B Y VMBC06A/B					
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.29E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.3: “PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,77E-01	7,824E+01
$\alpha_2$	1,53E-02	1,228E+00
$\alpha_3$	5,05E-03	4,043E-01
$\alpha_4$	2,78E-03	2,227E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
1,03E+00	9,45E-01	9,87E-03	4,89E-03	1,08E-02

Suceso básico		C©VM-BC01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC01A/B DE AISLAMIENTO DE LA INYECCIÓN A RAMAS FRÍAS DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL					
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.23E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.3: “PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	4,235E+01
$\alpha_2$	1,02E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,90E-01	1,02E-02

<b>Suceso básico</b>	C©VM-BC07AB		<b>Modelo indisponibilidad</b>	Demanda	
<b>Tipo de componente</b>	Válvula motorizada	<b>Modo de fallo</b>	Al cierre	<b>Nº componentes en grupo FCC</b>	2
<b>Descripción</b>	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC07A/B DE RECIRCULACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN				
<b>Probabilidad de fallo total</b>	1.20E-3/d				
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>	1.23E-5/d	<b>origen</b>	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.3: “PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	4,235E+01
$\alpha_2$	1,02E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,90E-01	1,02E-02

<b>Suceso básico</b>	O©VM-BC07AB		<b>Modelo indisponibilidad</b>	Demanda	
<b>Tipo de componente</b>	Válvula motorizada	<b>Modo de fallo</b>	A la apertura	<b>Nº componentes en grupo FCC</b>	2
<b>Descripción</b>	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBC07A/B				
<b>Probabilidad de fallo total</b>	9.07E-4/d				
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>	2.11E-5/d	<b>origen</b>	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.2: “PWR RHR MOV FAIL OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,77E-01	1,868E+01
$\alpha_2$	2,32E-02	4,429E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,77E-01	2,32E-02

Suceso básico		C©VM-BN01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBN01A/B DE ASPIRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA			
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.23E-5/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.7.3: “PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	4,235E+01
$\alpha_2$	1,02E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas válvulas se prueban trimestralmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,90E-01	1,02E-02

#### 7.1.5. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BJ

El sistema de inyección de seguridad de alta presión (HPI) es un subsistema del sistema de emergencia de refrigeración del núcleo, la función del cual es inyectar refrigerante de emergencia para mantener el inventario de refrigerante del reactor y proporcionar una eliminación adecuada del calor por descomposición después de un accidente por pérdida de refrigerante (LOCA). Al contrario que sucedía en el sistema descrito en el apartado anterior, la función de inyección se lleva a cabo en un intervalo de tiempo relativamente corto después de la iniciación del LOCA. El sistema está compuesto principalmente por bombas de inyección de seguridad (SI) de alto flujo de presión intermedia y bombas de carga centrífuga (CCP) de bajo flujo de alta presión. Ambas bombas inyectan directamente en ramas

frías del lazo primario. Los eventos de FCC pueden afectar únicamente a un tipo de bombas o bien a ambas.

La parte SI del sistema normalmente está alineada y en modo de espera, mientras que la parte CCP del sistema se utiliza para operaciones de carga normales y puede estar en funcionamiento en todo momento. Los fallos de funcionamiento de ambas bombas se consideran fallos al arranque o fallos en operación. La bomba falla al arranque cuando no logra alcanzar el flujo y la presión nominales. Una vez la bomba haya alcanzado el flujo y la presión nominales y se observe una falla, se considera que la bomba ha fallado en su misión de funcionamiento.

En el caso de la CN de estudio, existen dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BJ que hacen referencia a las bombas de carga:

Suceso básico		R©BGP01ABC		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada		Modo de fallo	En operación		Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS DOS BOMBAS DE CARGA ALINEADAS BGP01A/B/C					
Tasa de fallo total			1.26E-5/h				
Tasa de fallo de causa común			6.99E-8/h		origen		RiskSpectrum®

Las tres bombas de carga del sistema BJ pueden alinearse de dos en dos teniendo en cuenta que la bomba BG-P01C puede alinearse con la bomba BG-P01A en el tren A, o bien puede alinearse con la bomba BG-P01B del tren B. A la hora de realizar la simulación para el cálculo de la indisponibilidad total de dicho suceso básico, *RiskSpectrum®* tiene en cuenta la probabilidad de alineamiento de cada combinación posible de dos bombas mediante los Árboles de Fallo de sistemas.

Las tres bombas poseen en su circuito de disparo un enclavamiento de interruptor de potencia de la bomba que pudiera funcionar en el mismo tren que cada una de ellas, de forma que el funcionamiento simultaneo de las bombas BG-P01A y BG-P01C en tren A, como el de las bombas BG-P01B y BG-P01C del tren B no es posible.

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.9.3: “*HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,68E-01	1,992E+02
$\alpha_2$	2,65E-02	5,460E+00
$\alpha_3$	5,55E-03	1,142E+00

Dicho suceso básico hace referencia al fallo de causa común en operación de 2/3 bombas de carga, de modo que el resultado relevante es el del factor de causa común de dos bombas de carga alineadas. Los valores para los factores de causa común, siguiendo una política de pruebas escalonadas, se obtienen mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$
9,68E-01	1,33E-02	5,55E-03

Suceso básico	S©BGP01ABC		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS DOS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN ALINEADAS BGP01A/B/C				
Probabilidad de fallo total	2.01E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	5.26E-6/d	origen		RiskSpectrum®	

En el modelo del sistema BJ, para las bombas de inyección alineadas, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se modelan conjuntamente los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema HPI. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema BJ	2,01E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	1,89E-03 /d

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.9.1: “HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,92E-01	2,736E+02
$\alpha_2$	4,84E-03	1,334E+00
$\alpha_3$	2,78E-03	7,672E-01

Dicho suceso básico hace referencia al fallo de causa común al arranque de 2/3 bombas de carga, de modo que el resultado relevante es el del factor de causa común de dos bombas de carga alineadas. Los valores para los factores de causa común, siguiendo una política de pruebas escalonadas, se obtienen mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$
9,92E-01	2,42E-03	2,78E-03

Se deben tener en cuenta el gran número de válvulas motorizadas que intervienen en este complejo modelo de sistema y que se usan en un gran número de aplicaciones diferentes. La función de las MOVs del sistema HPI es permitir el flujo de agua al sistema de refrigeración del reactor. Todas las válvulas sirven como límite de contención del sistema y deberían cerrarse para aislar las posibles fugas.

Se detectan ocho sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BJ de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico	O©VM-BC04AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBC04A/B EN LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN ENTRE LA DESCARGA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN Y LA ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN				
Probabilidad de fallo total			9.07E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.67E-5/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.6.2: “HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,91E-01	4,635E+01
$\alpha_2$	9,29E-03	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,01E+00	9,82E-01	1,84E-02

Suceso básico	C©VM-BG22BD		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG22B/D DE ASPIRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA				
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d		
Probabilidad de fallo de causa común			2.42E-5/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.6.3: “HIGH PRESSURE

INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	4,225E+01
$\alpha_2$	1,02E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,01E+00	9,80E-01	2,02E-02

Suceso básico	O©VM-BJ0203AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE 2 DE LAS 3 VÁLVULAS VMBJ03A/B Y VMBJ02 DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN A RAMAS FRÍAS				
Probabilidad de fallo total	9.07E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.07E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.6.2: “HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,83E-01	6,565E+01
$\alpha_2$	1,25E-02	8,337E-01
$\alpha_3$	4,00E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$
1,02E+00	9,64E-01	1,22E-02	1,18E-02

Suceso básico	O©VM-BG22BD		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBG22B/D				
Probabilidad de fallo total	9.07E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.67E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.3.6.2: “*HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,91E-01	4,635E+01
$\alpha_2$	9,29E-03	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,01E+00	9,82E-01	1,84E-02

Suceso básico	C@VM-BG22CE		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG22C/E DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE CONTROL DE VOLUMEN				
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d		
Probabilidad de fallo de causa común		2.42E-5/d	origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.3.6.3: “*HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	4,225E+01
$\alpha_2$	1,02E-02	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,01E+00	9,80E-01	2,02E-02

El suceso básico que se muestra a continuación se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.



Suceso básico		C@VM-BG24AB25AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC		4	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS VMBG24A/B Y VMBG25A/B DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA ALTERNATIVA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN					
Probabilidad de fallo total			1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.29E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Las válvulas VMBG24A/B y VMBG25A/B son válvulas motorizadas que se encuentran en la línea de recirculación mínima alternativa de las bombas de carga. Las válvulas VMBG25A/B permanecen abiertas en operación normal, mientras que las VMBG24A/B están cerradas. Por señal de SI abren las VMBG24A/B y posteriormente, si ha de realizarse la recirculación en alta presión, estas válvulas han de cerrarse ya que su cierre constituye permisivio de apertura para las válvulas que conectan la descarga de las bombas de inyección de baja presión con la aspiración de las bombas de inyección de alta presión.

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.6.3: “HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,77E-01	7,814E+01
$\alpha_2$	1,54E-02	1,228E+00
$\alpha_3$	5,05E-03	4,043E-01
$\alpha_4$	2,78E-03	2,227E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
1,03E+00	9,45E-01	9,93E-03	4,88E-03	1,08E-02

Suceso básico		O©VM-BG24AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2		
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULASVMBG24A/B EN LA LÍNEA DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN					
Probabilidad de fallo total			9.07E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.67E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.6.2: “HIGH PRESSURE

*INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,91E-01	4,635E+01
$\alpha_2$	9,29E-03	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,01E+00	9,82E-01	1,84E-02

Suceso básico	C@VM-BG15ABC16		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG15A/B/C Y VMBG16 DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA DE LAS BOMBAS DE CARGA				
Probabilidad de fallo total	1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.29E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.3.6.3: “*HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,77E-01	7,814E+01
$\alpha_2$	1,54E-02	1,228E+00
$\alpha_3$	5,05E-03	4,043E-01
$\alpha_4$	2,78E-03	2,227E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
1,03E+00	9,45E-01	9,93E-03	4,88E-03	1,08E-02

Finalmente, se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema BJ de la CN de estudio que hacen referencia a las válvulas neumáticas:

Suceso básico		C@VN-BG5354		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2		
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNBG53/54 DE AISLAMIENTO DE LA LÍNEA DE VENTEO DEL COLECTOR DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE CARGA AL TCV					
Probabilidad de fallo total			7.06E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común			6.78E-6/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.4.1.3: “AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a las válvulas neumáticas del sistema BJ.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,49E-01	5,603E+01
$\alpha_2$	5,04E-02	2,977E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,05E+00	9,04E-01	9,60E-02

#### 7.1.6. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema BK

El sistema de rociado de la contención (CSS) es un subsistema del sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS) que proporciona la eliminación del calor y el control de la presión de contención después de un LOCA o una rotura de una línea de vapor dentro de la contención. Seguido de la fase inicial de inyección post-accidente, se bombea refrigerante primario del sumidero de contención a través de los cabezales de rociado en la parte superior del edificio de contención. El sistema BK se encuentra normalmente en espera y se activa automáticamente por el sistema de actuación de características de seguridad de ingeniería a una alta presión de contención. Dicho sistema puede ser accionado manualmente a través del panel de control principal.

El sistema de rociado de la contención consiste en dos trenes completos y separados, cada uno de ellos con una bomba centrífuga montada verticalmente. Las bombas se encuentran normalmente en espera y se accionan mediante sensores que accionan el interruptor del circuito al conductor, que a su vez operará la bomba. Estas bombas también pueden activarse manualmente mediante interruptores de control remoto.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BK de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo bombas:

Ambos sucesos básicos se modelan a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	R©BKP01AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS BKP01A/B DE ROCIADO DE CONTENCIÓN				
Tasa de fallo total	5.43E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	9.50E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.4.3: “CONTAINMENT SPRAY MDP-FTR LESS THAN AND >1 HOUR” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-01	2,435E+01
$\alpha_2$	1,75E-02	4,345E-01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,82E-01	1,75E-02

Suceso básico	S©BKP01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS BKP01A/B				
Probabilidad de fallo total	4.55E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.03E-4/d		origen	RiskSpectrum®	

En el modelo del sistema BK, para las bombas de rociado de contención, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se modelan conjuntamente los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema de CSS. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema BK	4,55E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	2,145E-03 /d

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.4.1: “*CONTAINMENT SPRAY MDP FAIL TO START*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,52E-01	4,915E+01
$\alpha_2$	4,81E-02	2,485E+00

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,52E-01	4,81E-02

Deben contemplarse el gran número de válvulas motorizadas que intervienen en el sistema de rociado de la contención. Todas las válvulas motorizadas del sistema pueden ser operadas manualmente, pero requieren de alimentación en AC o DC para su funcionamiento. La función principal de estas válvulas es permitir el flujo del agua a los anillos de contención del sistema de CSS y se utilizan en numerosas aplicaciones dentro de dicho sistema.

Se detectan tres sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema BK de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de válvulas:

Suceso básico	C©VM-BK02AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBK02A/B DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA				
Probabilidad de fallo total		1.20E-3/d			
Probabilidad de fallo de causa común		2.11E-5/d	origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.3.2.3: “*CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO CLOSE*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes:

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-01	2,425E+01
$\alpha_2$	1,76E-02	4,345E-01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,82E-01	1,76E-02

Los dos sucesos básicos que se muestran a continuación se modelan a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	O©VMBK3AB4AB14AB	Modelo indisponibilidad	Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBK04A/B, VMBK03A/B Y VMBK14A/B DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN Y DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN DESDE LOS SUMIDEROS DE CONTENCIÓN		
Probabilidad de fallo total	9.07E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común	2.96E-6/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.3.2.2: “CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO OPEN” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de seis componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,70E-01	1,409E+02
$\alpha_2$	1,54E-02	2,239E+00
$\alpha_3$	7,86E-03	1,142E+00
$\alpha_4$	4,08E-03	5,922E-01
$\alpha_5$	1,53E-03	2,222E-01
$\alpha_6$	5,73E-04	8,324E-02

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$
1,05E+00	9,22E-01	5,85E-03	2,24E-03	1,55E-03	1,45E-03	3,27E-03

Suceso básico	O©VM-BK13AB	Modelo indisponibilidad	Demanda
Tipo de componente	Válvula motorizada	Modo de fallo	A la apertura
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBK13A/B EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN		
Probabilidad de fallo total	9.07E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común	1.13E-5/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.3.2.2: “*CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO OPEN*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,87E-01	3,425E+01
$\alpha_2$	1,25E-02	4,345E-01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,87E-01	1,52E-02

Finalmente, se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo de sistema BK de la CN de estudio que hacen referencia a las unidades de refrigeración de las salas de las bombas de rociado de la contención:

Ambos sucesos básicos se modelan a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	R©GLUC07AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Unidad de refrigeración de salas	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN GLUC07A/B DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN				
Tasa de fallo total	1.74E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	1.03E-6/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,04E+00	9,41E-01	2,41E-02

Suceso básico	S@GLUC07AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Unidad de refrigeración de salas	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN GLUC07A/B				
Probabilidad de fallo total	6.33E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	2.45E-5/d	origen	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,02E+00	9,61E-01	3,86E-02

#### 7.1.7. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema EG

Los reactores de agua presurizada (PWR) disponen de un circuito cerrado de agua de refrigeración de sistemas. El objetivo es recopilar datos de fallas en todos los sistemas de agua de refrigeración de circuito cerrado.

El sistema de refrigeración de componentes elimina el calor de cargas relacionadas con la seguridad y se encuentra normalmente operando. Dicho sistema sirve como intermediario entre los sistemas de fluidos radiactivos y el sistema de agua de servicio. La mayoría de las bombas del sistema de refrigeración de componentes se encuentran normalmente en servicio, mientras que el resto sirven como bombas de reserva.

En el caso de estudio, el sistema consta de cuatro bombas de agua de refrigeración de componentes. Mientras dichas bombas se encuentren operando deben continuar produciendo flujo de diseño y presión de descarga hasta que los operadores apaguen la bomba. Una bomba de reserva debe iniciarse automáticamente en caso de fallo de una bomba en funcionamiento.



Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema EG de la CN de estudio que hacen referencia a las bombas de agua de refrigeración de componentes:

Suceso básico	R©EGP01ABCD		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE REFRIGERACIÓN DE COMPONENTES: EGP01A/B/C/D				
Tasa de fallo total	1.13E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	4.53E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Debido a que no existen datos específicos para una población de más de tres bombas de agua de refrigeración de componentes en el documento “CCF Parameter Estimations, 2015 Update”, para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el capítulo 2.1.3.3: “CLEAN SYSTEM MDP-FTR LESS THAN AND > 1 HOUR” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,66E-01	1,894E+02
$\alpha_2$	2,09E-02	4,091E+00
$\alpha_3$	9,47E-03	1,857E+00
$\alpha_4$	4,01E-03	7,862E+01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban cada una de ellas a intervalos de dos meses al realizar el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,66E-01	6,97E-03	3,16E-03	4,01E-03

Suceso básico	S©EGP01ABCD		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE REFRIGERACIÓN DE COMPONENTES EGP01A/B/C/D				
Probabilidad de fallo total	2.01E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	4.52E-6/d		origen	RiskSpectrum®	

En el modelo del sistema EG, para las bombas de agua de refrigeración de componentes, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se modelan conjuntamente los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas de dicho sistema. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance

del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema EG	2,01E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	1,891E-03 /d

Debido a que no existen datos específicos para una población de más de tres bombas de agua de refrigeración de componentes en el documento “CCF Parameter Estimations, 2015 Update”, para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el capítulo 2.1.3.1: “CLEAN SYSTEM MOTOR DRIVEN PUMPS FAIL TO START” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,84E-01	7,630E+02
$\alpha_2$	9,01E-03	6,989E+00
$\alpha_3$	4,54E-03	3,517E+00
$\alpha_4$	2,39E-03	1,853E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban cada una de ellas a intervalos de dos meses al realizar el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,84E-01	3,00E-03	1,51E-03	2,39E-03

El sistema de refrigeración de contención, además, consta de cuatro unidades de refrigeración, dos de las cuales (GNUC01A y GNUC01C) operan por el tren A y las otras dos (GNUC01B y GNUC01D) lo hacen por el tren B. Ante una señal de inyección de seguridad, única situación en la que se requiere la operación de las unidades para ejercer su función de salvaguardias solamente arranca de forma automática una unidad de refrigeración por tren. En el modelo del sistema, no se ha dado crédito al arranque de la unidad no seleccionada del tren correspondiente.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema EG de la CN de estudio que hacen referencia a las unidades de refrigeración de contención:

Suceso básico		R©GNUC01ABCD		Modelo indisponibilidad		Misión		
Tipo de componente		Unidad de refrigeración de contención	Modo de fallo	En operación		Nº componentes en grupo FCC		4
Descripción		FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN DE CONTENCIÓN GNUC01A/B/C/D						
Tasa de fallo total			7.29E-6/h					
Tasa de fallo de causa común			3.98E-8/h		origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,73E-01	2,982E+03
$\alpha_2$	1,29E-02	3,960E+01
$\alpha_3$	8,77E-03	2,688E+01
$\alpha_4$	5,46E-03	1,672E+01

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,73E-01	4,30E-03	2,92E-03	5,46E-03

Suceso básico		S@GNUM01ABCD		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Unidades de refrigeración de contención		Modo de fallo	Al arranque		Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN DE CONTENCIÓN GNUM01A/B/C/D					
Probabilidad de fallo total			1.19E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común			3.09E-6/d		origen		RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.1: “*Generic Demand CCF Distribution*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	2,786E+03
$\alpha_2$	1,35E-02	3,847E+01
$\alpha_3$	5,59E-03	1,591E+01
$\alpha_4$	2,60E-03	7,393E+00

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
9,78E-01	4,50E-03	1,86E-03	2,60E-03

Finalmente, se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema EG de la CN de estudio que hacen referencia al conjunto de válvulas neumáticas:

Suceso básico	C@VN-EG26AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
<b>Descripción</b>		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNEG26A/B			
<b>Probabilidad de fallo total</b>		7.06E-5/d			
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>		6.78E-6/d	<b>origen</b>	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.4.1.3: “*AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a las válvulas neumáticas del sistema EG.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,49E-01	5,603E+01
$\alpha_2$	5,04E-02	2,977E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,05E+00	9,04E-01	9,60E-02

Suceso básico	O@VN-EG27AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
<b>Descripción</b>		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VNEG27A/B			
<b>Probabilidad de fallo total</b>		4.89E-5/d			
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>		1.89E-6/d	<b>origen</b>	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.4.1.2: “*AOV FAIL TO OPEN ALL SYSTEMS*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a las válvulas neumáticas del sistema EG.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	6,870E+01
$\alpha_2$	1,97E-02	1,378E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,02E+00	9,61E-01	3,86E-02

### 7.1.8. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema EJ

El sistema de agua de salvaguardias tecnológicas tiene como función disipar la carga térmica procedente del sistema de refrigeración de componentes después de un accidente base de diseño. El sistema también presenta la capacidad de extraer la carga térmica en condiciones de operación normal, así como durante las operaciones de arranque y parada de la planta.

Aplicado al análisis probabilista de seguridad, el sistema de agua de salvaguardias tecnológicas tiene como función transferir las cargas térmicas procedentes de otros sistemas o componentes necesarios para la seguridad de la planta descargando la carga térmica a través de las torres de refrigeración para su dispersión final a la atmosfera.

En el caso de la CN de estudio, dicho sistema consta de cuatro bombas motorizadas de agua de salvaguardias tecnológicas o de servicios. Si la bomba está en condición de espera, debe responder a una señal de activación al arrancar, que incluye obtener la presión o flujo de descarga de diseño. Una vez en funcionamiento, la bomba deberá seguir produciendo un flujo de diseño o presión de descarga hasta que ya no sea necesario su servicio.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema EJ de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico	R©EJP01ABCD		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS CUATRO BOMBAS DE SISTEMA DE AGUA DE SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS EJP01A/B/C/D				
Tasa de fallo total	7.46E-6/h				
Tasa de fallo de causa común	1.05E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.8.4: “STANDBY SERVICE WATER MDP FAIL TO RUN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,60E-01	1,518E+02
$\alpha_2$	2,95E-02	4,672E+00
$\alpha_3$	9,02E-03	1,427E+00
$\alpha_4$	1,41E-03	2,235E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban periódicamente, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,60E-01	9,83E-03	3,01E-03	1,41E-03

Suceso básico	S©EJP01ABCD		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bomba motorizada	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS EJP01A/B/C/D				
Probabilidad de fallo total	4.63E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	2.91E-6/d	origen	RiskSpectrum®		

En el modelo del sistema EJ, para las bombas de agua de salvaguardias tecnológicas, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se han modelado de forma conjunta los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las bombas de dicho sistema. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las bombas del sistema EJ	4,63E-04 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	2,153E-03 /d

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.8.3: “STANDBY SERVICE WATER MDP FAIL TO START”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,71E-01	2,047E+02
$\alpha_2$	2,24E-02	4,733E+00
$\alpha_3$	5,48E-03	1,156E+00
$\alpha_4$	1,35E-03	2,852E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban periódicamente, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,71E-01	7,47E-03	1,83E-03	1,35E-03

El sistema de agua de salvaguardias tecnológicas cuenta, además, con un conjunto de ventiladores que constituyen cuatro sucesos básicos de FCC de la CN de estudio:

Suceso básico	R@GA-EX03AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DEL EJ ALINEADAS GA-EX03A/B				
Tasa de fallo total	3.07E-6/h				
Tasa de fallo de causa común	9.33E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S@GA-EX03AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DE EJ ALINEADAS GA-EX03A/B				
Probabilidad de fallo total	4.24E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	8.35E-6/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos

componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	4,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,80E-01	1,97E-02

Suceso básico	R©EJUV01020304AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES EJUV01/02/03/04A/B				
Tasa de fallo total	1.39E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	5.07E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de ocho componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-01	6,054E+03
$\alpha_2$	4,20E-03	2,587E+01
$\alpha_3$	3,47E-03	2,140E+01
$\alpha_4$	3,57E-03	2,204E+01
$\alpha_5$	2,96E-03	1,826E+01
$\alpha_6$	2,19E-03	1,348E+01
$\alpha_7$	1,16E-03	7,177E+00
$\alpha_8$	4,81E-04	2,968E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$	$f_{cc7}$	$f_{cc8}$
1,05E+00	9,31E-01	1,14E-03	4,70E-04	3,87E-04	4,01E-04	5,93E-04	1,10E-03	3,65E-03



Suceso básico	S©EJUV01020304AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES EJUV				
Probabilidad de fallo total	2.86E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	3.37E-8/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de ocho componentes. Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, deben utilizarse valores genéricos.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,84E-01	5,661E+03
$\alpha_2$	5,28E-03	3,038E+01
$\alpha_3$	3,53E-03	2,031E+01
$\alpha_4$	2,79E-03	1,607E+01
$\alpha_5$	2,14E-03	1,234E+01
$\alpha_6$	1,37E-03	7,870E+00
$\alpha_7$	5,88E-04	3,384E+00
$\alpha_8$	1,18E-04	6,793E-01

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe para una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$	$f_{cc_5}$	$f_{cc_6}$	$f_{cc_7}$	$f_{cc_8}$
9,84E-01	7,54E-04	1,68E-04	7,97E-05	6,11E-05	6,52E-05	8,40E-05	1,18E-04

### 7.1.9. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema GJ

El sistema esencial de agua enfriada tiene la función de suministrar agua fría a las diferentes baterías de refrigeración de las unidades esenciales de aire acondicionado de la CN relacionadas con la seguridad, permitiendo el enfriamiento del aire y la transferencia del calor disipado al ambiente por los equipos, iluminación, cables eléctricos, tuberías y personal, al agua de refrigeración. El sistema está formado por dos trenes, iguales e independientes. Cada circuito incorpora una unidad esencial de enfriamiento y una bomba de impulsión de agua enfriada. Los dos trenes del sistema inician su actuación, si bien es suficiente uno de ellos para satisfacer las funciones de seguridad de la planta.

Este sistema suministra su caudal de refrigeración para aquellos equipos de ventilación o aire acondicionado que deban funcionar durante una situación de emergencia en la CN, como consecuencia de una Señal de inyección de Seguridad (ISS), o bien una situación de Pérdida del Suministro Exterior (PSE).

El sistema podrá igualmente suministrar agua fría en condiciones normales de la Central, en el supuesto de haberse producido un fallo en el suministro normal de agua fría por indisponibilidad del sistema GB (Sistema de Agua Enfriada).

Las bombas motorizadas que aparecen en el sistema GJ de la CN de estudio son de 380 V de AC, de modo que, en este caso, tanto el interruptor como la bomba y el motor eléctrico se encuentran dentro del límite del componente.

El sistema GJ se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos para todos los sucesos básicos de FCC no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Se detectan cuatro sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema GJ de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico	R©BM-GJP01AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP01A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA (380 V)				
Tasa de fallo total	3.01E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	3.28E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.1.12.2: “CCW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, que en este caso hacen referencia a las bombas de impulsión del sistema.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,89E-01	4,713E+01
$\alpha_2$	1,09E-02	5,179E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,89E-01	1,09E-02

Suceso básico	S©BM-GJP01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP01A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA (380 V)				
Probabilidad de fallo total	5.70E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	2.39E-7/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.12.1: “*CCW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, que en este caso hacen referencia a las bombas de impulsión del sistema.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,96E-01	1,029E+02
$\alpha_2$	4,20E-03	4,345E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,96E-01	4,20E-03

Suceso básico	R@BM-GJP02AB03AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP02A/B Y GJP03A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA				
Tasa de fallo total	3.01E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	1.21E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.3.3: “*CLEAN SYSTEM MDP-FTR LESS THAN AND > 1 HOUR*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes, que en este caso hacen referencia a las bombas del circuito de refrigeración de las unidades enfriadoras del sistema.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,66E-01	1,894E+02
$\alpha_2$	2,09E-02	4,091E+00
$\alpha_3$	9,47E-03	1,857E+00
$\alpha_4$	4,01E-03	7,862E-01

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
9,66E-01	6,97E-03	3,16E-03	4,01E-03

Suceso básico		S@BM-GJP02AB03AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC		4	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP02A/B Y GJP03A/B					
Probabilidad de fallo total			5.70E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.36E-6/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.1.3.1: “*CLEAN SYSTEM MOTOR DRIVEN PUMPS FAIL TO START*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes, que en este caso hacen referencia a las bombas del circuito de refrigeración de las unidades enfriadoras del sistema.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,84E-01	7,630E+02
$\alpha_2$	9,01E-03	6,989E+00
$\alpha_3$	4,54E-03	3,517E+00
$\alpha_4$	2,39E-03	1,853E+00

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,84E-01	3,00E-03	1,51E-03	2,39E-03

El sistema esencial de agua enfriada consta también de dos unidades enfriadoras (*chillers*) una en cada tren, que aparecen en dos sucesos básicos de FCC de la CN de estudio:

Suceso básico		R@GJCH01AB		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Unidad enfriadora ("chiller")	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA GJCH01A/B					
Tasa de fallo total			1.84E-3/h				
Tasa de fallo de causa común			5.61E-5/h	origen		RiskSpectrum®	

Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, se utilizan los valores genéricos de los parámetros Alfa suministrados en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*” donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas unidades enfriadoras se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S©GJCH01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Unidad enfriadora ("chiller")	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES GJCH01A/B				
Probabilidad de fallo total	3.05E-2/d				
Probabilidad de fallo de causa común	6.34E-4/d	origen		RiskSpectrum®	

En el modelo del sistema GJ, para las unidades enfriadoras GJCH01A y GJCH01B, y en lo que se refiere al fallo al arranque, se han modelado de forma conjunta los fallos del interruptor de 6,25 kV y los del conjunto motor-bomba. Para la obtención de la probabilidad de fallo total se ha sumado la probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV a la probabilidad de fallo al arranque de las unidades enfriadoras de dicho sistema. La estimación de cada probabilidad se obtiene en el estudio de la CN a partir del análisis bayesiano o a partir de la base de datos genérica. Esta estimación queda fuera del alcance del proyecto y los datos vienen proporcionados por la Instrucción de Trabajo IT-1501\_Rev.9 elaborada por la CN.

Probabilidad de fallo al arranque de las unidades enfriadoras del GJ	3,05E-02 /d
Probabilidad de fallo al cierre de interruptores de 6,25 kV	1,69E-03 /d
Probabilidad de fallo total	3,219E-02 /d

Debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de componentes, se utilizan los valores genéricos de los parámetros Alfa suministrados en el "CCF Parameter Estimations, 2015 Update" en su apartado 3.1.1: "Generic Demand CCF Distribution" donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas unidades enfriadoras se prueban mensualmente de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,80E-01	1,97E-02

Además de las unidades enfriadoras, el sistema dispone de seis ventiladores de las unidades aerorefrigeradoras de Tren A y seis ventiladores de las unidades aerorefrigeradoras de Tren B. Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema GJ de la CN de estudio que hacen referencia al conjunto de 12 ventiladores. Para el método del Factor Alfa, estos sucesos básicos se dividen por trenes, de modo que finalmente se detectan cuatro sucesos básicos de FCC que hacen referencia al conjunto de los ventiladores.

El éxito de uno cualquiera de los dos trenes del sistema es suficiente para satisfacer las funciones de seguridad de la planta, por ello, se analizan de forma separada los sucesos básicos de FCC en operación de los seis ventiladores del tren A y los seis ventiladores del tren B.

De acuerdo con las ETF (Especificaciones Técnicas de Funcionamiento), los ventiladores necesarios varían en función de la temperatura. Para la cuantificación del APS se considera, según la Instrucción de Trabajo IT-1201\_Rev.6 (Ref. 17), el caso en que la temperatura de bulbo seco está por encima de 33°C y por debajo de 40°C, ya que la máxima temperatura alcanzada en el emplazamiento ha sido de 36,1°C durante 15 minutos. Por tanto y de forma conservadora se ha considerado la necesidad de estar en funcionamiento de 5 de los 6 ventiladores; es decir, en el modelo el fallo de las unidades de enfriamiento se produce con el fallo de 2 cualesquiera de los 6 ventiladores de un tren.

Se crean dos nuevos sucesos básicos de FCC en operación, en el modelo del sistema GJ de la CN de estudio, que hacen referencia a estos ventiladores:

Suceso básico	R©GJUV0123A12		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	6
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GJ- UV01A01/2, GJ UV02A01/2 Y GJ-UV03A01/2				
Tasa de fallo total	1.39E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	1.51E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Suceso básico	R©GJUV0123B12		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	6
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GJ- UV01B01/2, GJ UV02B01/2 Y GJ-UV03B01/3				
Tasa de fallo total	1.39E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	1.51E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dichos sucesos básicos de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de seis componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	4,501E+03
$\alpha_2$	6,34E-03	2,919E+01
$\alpha_3$	6,19E-03	2,847E+01
$\alpha_4$	4,69E-03	2,158E+01
$\alpha_5$	2,58E-03	1,187E+01
$\alpha_6$	1,90E-03	8,727E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$
1,05E+00	9,29E-01	2,41E-03	1,76E-03	1,78E-03	2,45E-03	1,08E-02

Para lo que al fallo al arranque respecta, se procede del mismo modo que se ha hecho para el suceso básico de FCC en operación de los ventiladores del sistema GJ, dividiendo dicho SB establecido por el método de las MLG en dos nuevos sucesos, analizados mediante el método del Factor Alfa:

Suceso básico	S@GJUV0123A12		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	6
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GJ- UV01A01/2, GJ-UV02A01/2 Y GJ-UV03A01/2				
Probabilidad de fallo total			2.86E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.41E-7/d	origen	RiskSpectrum®

Suceso básico	S@GJUV0123B12		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	6
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GJ- UV01B01/2, GJ-UV02B01/2 Y GJ-UV03B01/3				
Probabilidad de fallo total			2.86E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.41E-7/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dichos sucesos básicos de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de seis componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-01	4,209E+03
$\alpha_2$	7,32E-03	3,140E+01
$\alpha_3$	5,15E-03	2,209E+01
$\alpha_4$	3,26E-03	1,398E+01
$\alpha_5$	1,85E-03	7,937E+00
$\alpha_6$	4,94E-04	2,115E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$	$f_{cc_5}$	$f_{cc_6}$
9,82E-01	1,46E-03	5,15E-04	3,26E-04	3,70E-04	4,94E-04

Finalmente, se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema GJ de la CN de estudio que hacen referencia al conjunto de válvulas neumáticas:

Suceso básico	O©VN-GJ15AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS VNGJ51A/B				
Probabilidad de fallo total	1.20E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.89E-6/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.4.1.2: “AOV FAIL TO OPEN ALL SYSTEMS”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a las válvulas neumáticas del sistema GJ.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	6,870E+01
$\alpha_2$	1,97E-02	1,378E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,02E+00	9,61E-01	3,86E-02

Suceso básico	C©VN-GJ525354AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	6
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS DE AISLAMIENTO ENTRE LOS SISTEMAS GB Y GJ VNGJ52A/B, VNGJ53A/B Y VNGJ54A/B				
Probabilidad de fallo total	7.06E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común	8.94E-7/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.4.1.3: “AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de seis componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a las válvulas neumáticas del sistema GJ.



Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,60E-01	2,464E+02
$\alpha_2$	1,56E-02	3,996E+00
$\alpha_3$	9,19E-03	2,357E+00
$\alpha_4$	6,38E-03	1,638E+00
$\alpha_5$	6,29E-03	1,615E+00
$\alpha_6$	2,30E-03	5,892E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$
1,09E+00	8,81E-01	5,73E-03	2,53E-03	2,34E-03	5,77E-03	1,27E-02

#### 7.1.10. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KJ

Los generadores diésel de emergencia (EDGs) forman parte del sistema de distribución de energía eléctrica en AC y proporcionan alimentación de emergencia fiable para los buses eléctricos que abastecen el sistema de enfriamiento de emergencia del núcleo y otros varios equipamientos necesarios para guardar el cierre. Los EDGs se encuentran normalmente en espera, ya sea con la planta en funcionamiento o sin funcionar. Al menos se requiere un EDG, según las especificaciones técnicas, alineado para proporcionar energía eléctrica de emergencia a los buses eléctricos relacionados con la seguridad.

Dentro del sistema APS denominado KJ se pueden distinguir dos subsistemas claramente diferenciados, uno son los Generadores Diésel, y sus equipos asociados, y otro los relés de detección de mínima tensión en las barras de salvaguardias de media tensión. La función de los generadores diésel de emergencia es asegurar el suministro de energía a determinados equipos que intervienen en la seguridad de la CN, cuando se produce pérdida de energía exterior.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KJ de la CN de estudio que hacen referencia a los generadores diésel de emergencia:

Suceso básico	R@GD-AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Generador diésel	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA GDA/B				
Tasa de fallo total	3.36E-3/h				
Tasa de fallo de causa común	5.28E-5/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.11.1.3: “EMERGENCY

*DIESEL GENERATOR SPAR: DGN-FR*", donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,84E-01	1,782E+01
$\alpha_2$	1,57E-02	2,834E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (se efectúa prueba mensual de cada diésel de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,84E-01	1,57E-02

Suceso básico	S©GD-AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Generador diésel	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS GENERADORES GDA/B				
Probabilidad de fallo total	3.70E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común	3.54E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el "CCF Parameter Estimations, 2015 Update" en su apartado 2.11.1.1: "EMERGENCY DIESEL GENERATOR SPAR: DGN-FS", donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	2,722E+02
$\alpha_2$	9,58E-03	2,635E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (se efectúa prueba mensual de cada diésel de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,90E-01	9,58E-03

Dentro de los equipos asociados a los generadores diésel se encuentran las bombas motorizadas de 380 V de corriente alterna, que tendrán funciones distintas dentro del mismo sistema KJ. Por un lado, se dispone de bombas de trasiego de gasoil entre los tanques de almacenamiento y el tanque diario de los generadores diésel de emergencia.

Para este tipo de bombas se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KJ de la CN de estudio:

Suceso básico	R©BM-JEP0102AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS JEP01A/B Y JEP02A/B DE TRASIEGO DE GASOIL ENTRE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y EL TANQUE DIARIO DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA				
Tasa de fallo total			5.53E-5/h		
Tasa de fallo de causa común			3.02E-7/h	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,73E-01	2,982E+03
$\alpha_2$	1,29E-02	3,960E+01
$\alpha_3$	8,77E-03	2,688E+01
$\alpha_4$	5,46E-03	1,672E+01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,73E-01	4,30E-03	2,92E-03	5,46E-03

Suceso básico	S©BM-JEP0102AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS JEP01A/B Y JEP02A/B				
Probabilidad de fallo total			6.06E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.58E-6/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	2,786E+03
$\alpha_2$	1,35E-02	3,847E+01
$\alpha_3$	5,59E-03	1,591E+01
$\alpha_4$	2,60E-03	7,393E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
9,78E-01	4,50E-03	1,86E-03	2,60E-03

Por otro lado, se tienen en cuenta el conjunto de bombas motorizadas de 380 V de corriente alterna y los ventiladores que forman parte del sistema de refrigeración del modelo del sistema KJ de la CN de estudio. Para este primer tipo de componentes se detectan cuatro sucesos básicos de FCC:

Suceso básico	R©KJP4041AB		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KJP40A/B Y KJP41A/B				
Tasa de fallo total	3.01E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	1.64E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,73E-01	2,982E+03
$\alpha_2$	1,29E-02	3,960E+01
$\alpha_3$	8,77E-03	2,688E+01
$\alpha_4$	5,46E-03	1,672E+01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
9,73E-01	4,30E-03	2,92E-03	5,46E-03

Suceso básico		S©KJP4041AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC		4	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KJP40A/B Y KJP41A/B					
Probabilidad de fallo total			5.70E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.48E-6/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	2,786E+03
$\alpha_2$	1,35E-02	3,847E+01
$\alpha_3$	5,59E-03	1,591E+01
$\alpha_4$	2,60E-03	7,393E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,78E-01	4,50E-03	1,86E-03	2,60E-03

Suceso básico		R©KJP4243AB		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Bomba motorizada 380 Vca	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC		4	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KJP42A/B Y KJP43A/B					
Tasa de fallo total			3.01E-5/h				
Tasa de fallo de causa común			1.64E-7/h	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,73E-01	2,982E+03
$\alpha_2$	1,29E-02	3,960E+01
$\alpha_3$	8,77E-03	2,688E+01
$\alpha_4$	5,46E-03	1,672E+01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,73E-01	4,30E-03	2,92E-03	5,46E-03

<b>Suceso básico</b>	S©KJP4243AB		<b>Modelo indisponibilidad</b>	Demanda	
<b>Tipo de componente</b>	Bomba motorizada 380 Vca	<b>Modo de fallo</b>	Al arranque	<b>Nº componentes en grupo FCC</b>	4
<b>Descripción</b>	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KJP42A/B Y KJP43A/B				
<b>Probabilidad de fallo total</b>	5.70E-4/d				
<b>Probabilidad de fallo de causa común</b>	1.48E-6/d	<b>origen</b>	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de cuatro componentes, ya que no se dispone de información específica para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	2,786E+03
$\alpha_2$	1,35E-02	3,847E+01
$\alpha_3$	5,59E-03	1,591E+01
$\alpha_4$	2,60E-03	7,393E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba de los generadores diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$
9,78E-01	4,50E-03	1,86E-03	2,60E-03

Además, se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KJ de la CN de estudio que hacen referencia a los ventiladores del sistema de refrigeración. El conjunto de los 16 ventiladores del sistema KJ se divide en dos trenes: 8 ventiladores del Tren A y 8 ventiladores del tren B.

Igual que sucedía en el caso del sistema GJ, se analizan de forma separada los sucesos básicos de FCC en operación de los ocho ventiladores del tren A y los ocho ventiladores del tren B.

De acuerdo con las ETF, los ventiladores necesarios varían en función de la temperatura. Para la cuantificación del APS se considera, según la Instrucción de Trabajo IT-1212\_Rev.7 (Ref. 24), el caso en que la temperatura de bulbo seco está por encima de 33°C y hasta un valor de 40°C, ya que la máxima temperatura alcanzada en el emplazamiento ha sido de 36,1°C durante 15 minutos. Por tanto y de

forma conservadora se ha considerado la necesidad de estar en funcionamiento de 7 de los 8 ventiladores; es decir, en el modelo el fallo de las unidades de enfriamiento se produce con el fallo de 2 cualesquiera de los 8 ventiladores de un tren.

Los nuevos dos sucesos básicos de FCC reportados son los siguientes:

Suceso básico	R©KJUVA12		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES KJ-UV20A01/2, KJ-UV21A01/2, KJ-UV22A01/2 Y KJ-UV23A01/2				
Tasa de fallo total	1.39E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	5.07E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Suceso básico	R©KJUVB12		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES KJ-UV20B01/2, KJ-UV21B01/2, KJ-UV22B01/2 Y KJ-UV23B01/3				
Tasa de fallo total	1.39E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	5.07E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dichos sucesos básicos de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de ocho componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,82E-01	6,054E+03
$\alpha_2$	4,20E-03	2,587E+01
$\alpha_3$	3,47E-03	2,140E+01
$\alpha_4$	3,57E-03	2,204E+01
$\alpha_5$	2,96E-03	1,826E+01
$\alpha_6$	2,19E-03	1,348E+01
$\alpha_7$	1,16E-03	7,177E+00
$\alpha_8$	4,81E-04	2,968E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{CC1}$	$f_{CC2}$	$f_{CC3}$	$f_{CC4}$	$f_{CC5}$	$f_{CC6}$	$f_{CC7}$	$f_{CC8}$
1,05E+00	9,31E-01	1,14E-03	4,70E-04	3,87E-04	4,01E-04	5,93E-04	1,10E-03	3,65E-03

Para el suceso básico de FCC al arranque de los ventiladores del sistema KJ se procede del mismo modo que se ha hecho para el suceso básico de FCC en operación de dichos ventiladores, de modo que se obtienen dos nuevos sucesos básicos:

Suceso básico	S©KJUVA12		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES KJ- UV20A01/2, KJ-UV21A01/2, KJ-UV22A01/2 Y KJ-UV23A01/2				
Probabilidad de fallo total			2.86E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			3.37E-8/d	origen	RiskSpectrum®

Suceso básico	S©KJUVB12		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	8
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES KJ- UV20B01/2, KJ-UV21B01/2, KJ-UV22B01/2 Y KJ-UV23B01/3				
Probabilidad de fallo total			2.86E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común			3.37E-8/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dichos sucesos básicos de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de ocho componentes, ya que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,84E-01	5,661E+03
$\alpha_2$	5,28E-03	3,038E+01
$\alpha_3$	3,53E-03	2,031E+01
$\alpha_4$	2,79E-03	1,607E+01
$\alpha_5$	2,14E-03	1,234E+01
$\alpha_6$	1,37E-03	7,870E+00
$\alpha_7$	5,88E-04	3,384E+00
$\alpha_8$	1,18E-04	6,793E-01

Los factores de causa común para este suceso básico se calculan mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$	$f_{cc_5}$	$f_{cc_6}$	$f_{cc_7}$	$f_{cc_8}$
9,84E-01	7,54E-04	1,68E-04	7,97E-05	6,11E-05	6,52E-05	8,40E-05	1,18E-04

En el conjunto de ventiladores del sistema KJ de la CN de estudio se detectan también cuatro fallos de causa común que hacen referencia a los ventiladores esenciales del Sistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado de las salas de los Generadores Diésel de Emergencia:



Suceso básico	R@GMUS01AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GMUS01A/B DE SUMINISTRO DE AIRE A LAS SALAS DE LOS GENERADORES DIÉSEL DE EMERGENCIA				
Tasa de fallo total	1.19E-4/h				
Tasa de fallo de causa común	3.63E-6/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.2: “Generic Rate CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes, debido a que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con la prueba del diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S@GMUS01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GMUS01A/B				
Probabilidad de fallo total	8.20E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.62E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes, debido a que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con la prueba del diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,80E-01	1,97E-02

Suceso básico	R©GMEX01AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GMEX01A/B DE EXTRACCIÓN DE AIRE A LAS SALAS DE LOS GENERADORES DIÉSEL DE EMERGENCIA				
Tasa de fallo total	1.19E-4/h				
Tasa de fallo de causa común	3.63E-6/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes, debido a que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con la prueba del diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S©GMEX01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GMEX01A/B				
Probabilidad de fallo total	8.20E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.62E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.1: “*Generic Demand CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes, debido a que no existe un apartado específico que haga referencia a este tipo de componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01



Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con la prueba del diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,80E-01	1,97E-02

#### 7.1.11. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema PB

El sistema PB hace referencia al sistema de distribución de corriente alterna. Dentro de dicho sistema se detectan únicamente sucesos básicos de FCC en la central nuclear de estudio que hacen referencia al sistema de media tensión Clase 1E, 6,25 kV.

La función del sistema es la de proporcionar energía eléctrica a los motores de 6 kV de Clase 1E y a los Centros de Distribución de Clase 1E de la Central. A tal efecto, el sistema puede recibir energía eléctrica procedente de dos fuentes exteriores y de dos fuentes interiores a la Central. El tren A puede recibir energía eléctrica de una tercera fuente exterior. Las fuentes exteriores son las constituidas por los Transformadores auxiliares TAU y TAE, uno de los cuales puede ser eventualmente sustituido por el Transformador Auxiliar TAR. Las fuentes internas están constituidas por los Generadores Diésel, uno para cada grupo de cargas o tren. El tren A dispone adicionalmente, como fuente interna, el generador diésel esencial.

Durante el funcionamiento normal de la planta cada tren del sistema se alimenta de una fuente exterior distinta, TAU o TAE. La pérdida de una de las fuentes exteriores da lugar a la transferencia automática rápida del tren sobre la otra fuente externa. En caso de fallo de la transferencia automática rápida, el generador diésel asignado a ese tren arranca automáticamente y es conectado a la barra en la que se ha producido la anomalía.

Se detectan tres sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema PB de la CN de estudio que hacen referencia a los interruptores de 6,25 kV:

Suceso básico		O@526A97A10		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Interruptor de 6.25 kV	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC			2
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE 6.25 kV DE ALIMENTACIÓN A LAS BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A DESDE LOS TRANSFORMADORES TAU Y TAE (CUANDO 6A SE ALIMENTA DESDE TAU Y 7A DESDE TAE)					
Probabilidad de fallo total			7.94E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común			2.64E-6/d	origen	RiskSpectrum®		

En operación normal de la planta el tren en operación se alimenta eléctricamente desde el transformador TAU, mientras que el tren en espera se encuentra alineado al transformador TAE. Si es el tren A el que se encuentra en operación, será la barra de salvaguardias 6A la que se encuentre

alimentada de TAU y la barra 7A desde TAE. Si es el tren B el que se encuentra en operación, la barra 6A se alimenta desde TAE y la barra 7A desde TAU. De la tabla siguiente se deduce cual es el par de interruptores que deben estar cerrados en función de la configuración de la planta:

Barra	TAU	TAE
6A	526A9	526A4
7A	527A17	527A10

En caso de pérdida de la alimentación exterior a uno de los transformadores, se produce la consiguiente pérdida de alimentación a la barra de salvaguardias. En esta situación, se produce el arranque del generador diésel de emergencia correspondiente, y antes de que se produzca el acoplamiento de este a la barra de salvaguardias, ha de producirse la apertura del interruptor de alimentación desde TAE o TAU correspondiente. Si la pérdida de suministro eléctrico exterior afecta a las dos líneas exteriores, ha de producirse la apertura de los dos interruptores que alimentan a las barras desde TAE o TAU. En esta situación se han postulado los fallos de causa común a la apertura de dos interruptores.

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.13.2.1: “ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO OPEN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,67E-01	1,388E+01
$\alpha_2$	3,32E-02	4,770E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (se efectúan aperturas/cierres cada vez que se efectúa el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,67E-01	3,32E-02

Suceso básico	O@526A47A17		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Interruptor de 6.25 kV	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE 6.25 kV DE ALIMENTACIÓN A LA BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A DESDE LOS TRANSFORMADORES TAU Y TAE (CUANDO 6A SE ALIMENTA DESDE TAE Y 7A DESDE TAU)				
Probabilidad de fallo total			7.94E-5/d		
Probabilidad de fallo de causa común			2.64E-6/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.13.2.1: “ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO OPEN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,67E-01	1,388E+01
$\alpha_2$	3,32E-02	4,770E-01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (se efectúan aperturas/cierres cada vez que se efectúa el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,67E-01	3,32E-02

Suceso básico	C©526A49527A1017		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Interruptor de 6.25 kV	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	4
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LOS CUATRO INTERRUPTORES 526A4/9 Y 527A10/17 DE ALIMENTACION DESDE LOS TRANSFORMADORES TAE Y TAU A LAS BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A				
Probabilidad de fallo total			1.69E-1/d		
Probabilidad de fallo de causa común			1.16E-5/d	origen	RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.13.2.2: “ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO CLOSE”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de cuatro componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,90E-01	1,079E+02
$\alpha_2$	9,72E-03	1,228E+00
$\alpha_3$	3,20E-03	4,043E-01
$\alpha_4$	1,76E-03	2,227E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$	$f_{cc_4}$
1,02E+00	9,65E-01	6,34E-03	3,13E-03	6,89E-03

### 7.1.12. Suceso Básicos de FCC en el modelo del sistema PK

En el caso de estudio resulta relevante la función específica para la que ha sido diseñado el sistema de 125 Vcc, ya que los dos sucesos básicos de FCC que se encuentran en el modelo del sistema PK de la CN de estudio hacen referencia al conjunto de baterías de 125 Vcc.

El sistema de distribución de 125 Vcc de Clase 1E tiene como función proporcionar cuatro fuentes seguras y separadas de corriente continua, para alimentar los cuatro grupos independientes de cargas de Clase 1E, una fuente segura y separada para las cargas del Sistema de la Turbopompa de Agua de Alimentación Auxiliar y dos fuentes seguras, una por cada tren de salvaguardias, para la alimentación de las cargas de corriente continua de clase 1E requeridas para el funcionamiento del Sistema de Agua de Salvaguardias Tecnológicas (EJ).

Suceso básico	F©KBAV-LARGO		Modelo indisponibilidad		Espera
Tipo de componente	Batería de 125 Vcc	Modo de fallo	Pérdida de función	Nº componentes en grupo FCC	7
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN DE LAS BATERÍAS KBAV1251/2/3/4/5/6/7 (A LARGO PLAZO)				
Tasa de fallo total	2.42E-7/h				
Tasa de fallo de causa común	1.88E-10/h		origen	RiskSpectrum®	

El siguiente suceso básico se modela a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Suceso básico	F©KBAV1251234567		Modelo indisponibilidad		Espera
Tipo de componente	Batería de 125 Vcc	Modo de fallo	Pérdida de función	Nº componentes en grupo FCC	7
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN DE LAS BATERÍAS KBAV1251/2/3/4/5/6/7 (A CORTO PLAZO)				
Tasa de fallo total	2.42E-7/h				
Tasa de fallo de causa común	1.88E-10/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dichos sucesos básicos de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.14.1.1: “DC POWER BATTERY NO OUTPUT SPAR: BAT-LP”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de siete componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,72E-01	2,407E+02
$\alpha_2$	1,39E-02	3,449E+00
$\alpha_3$	7,09E-03	1,756E+00
$\alpha_4$	4,07E-03	1,009E+00
$\alpha_5$	2,11E-03	5,229E-01
$\alpha_6$	7,52E-04	1,863E-01
$\alpha_7$	1,17E-04	2,907E-02

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas (para estos sucesos básicos solo se ha dado crédito como prueba a la descarga que se realiza en recarga, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$	$f_{cc4}$	$f_{cc5}$	$f_{cc6}$	$f_{cc7}$
1,05E+00	9,23E-01	4,40E-03	1,35E-03	7,73E-04	6,68E-04	7,14E-04	7,78E-04

### 7.1.13. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema QV

El sistema de disparo del reactor se encarga de mantener la operación de la planta dentro de unos márgenes de determinadas variables de proceso que garantizan una operación segura de la misma, evitando así la rotura de las vainas de combustible y colaborando al mantenimiento de la integridad de la barrera de presión. Dicho sistema ejerce su función provocando la inserción en el núcleo del reactor de las barras de control. Estas barras de control se insertan por gravedad en el núcleo siempre que se liberen los mecanismos que las retienen extraídas fuera del núcleo. Por tanto, la última función del sistema de disparo del reactor es provocar la liberación de los mecanismos de retención de las barras de control.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema QV de la CN de estudio que hacen referencia a los interruptores de disparo:

Suceso básico		O©52RTAB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Interruptor de disparo	Modo de fallo	A la apertura	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR 52RTA/B					
Probabilidad de fallo total			1.52E-5 /d				
Probabilidad de fallo de causa común			3.42E-7/d		origen		RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.15.1.1: “REACTOR TRIP BREAKERS FAIL TO OPEN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,77E-01	1,885E+01
$\alpha_2$	2,25E-02	4,345E-01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,77E-01	2,25E-02

Aunque un interruptor de potencia normalmente se trata con un solo componente, en este caso los interruptores de disparo y de baipás han sido analizados en más detalle para modelar adecuadamente la redundancia existente en cuanto a las bobinas de UV (bajo voltaje) y de Shunt. Por eso cada interruptor de disparo o de baipás se desglosa en los siguientes componentes:

- Una bobina de UV (bajo voltaje)
- Una bobina Shunt
- Dos fusibles
- Un interruptor (de disparo o de baipás) que contiene el resto del componente, incluyendo el contacto.

Se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema QV de la CN de estudio que hace referencia a las bobinas de disparo de baja tensión:

Suceso básico	D©UV-52/RTAB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bobina de disparo de baja tensión	Modo de fallo	A la desenergización	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN A LA DESENERGIZACIÓN DE LAS BOBINAS DE DISPARO DE MÍNIMA TENSIÓN DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR				
Probabilidad de fallo total			3.67E-4/d		
Probabilidad de fallo de causa común		1.42E-5/d	origen	RiskSpectrum®	

Debido a la inexistencia de datos específicos para la obtención de los parámetros Alfa de dichos componentes en el documento “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” se hace uso de los valores genéricos que aparecen en el apartado 3.1.1: “*Generic Demand CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
1,02E+00	9,61E-01	3,86E-02

Finalmente, se detecta un suceso básico de FCC en el modelo del sistema QV de la central nuclear de estudio que hace referencia a las bobinas de disparo Shunt:



Suceso básico		EOSH-52/BYAB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Bobina de disparo en paralelo	Modo de fallo	A la energización	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN A LA ENERGIZACIÓN DE LAS BOBINAS DE DISPARO "SHUNT" DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR					
Probabilidad de fallo total			2.99E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común			1.16E-5/d	origen		RiskSpectrum®	

Debido a la inexistencia de datos específicos para la obtención de los parámetros Alfa de dichos componentes en el documento "CCF Parameter Estimations, 2015 Update" se hace uso de los valores genéricos que aparecen en el apartado 3.1.1: "Generic Demand CCF Distribution", donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,02E+00	9,61E-01	3,86E-02

#### 7.1.14. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema SM

El sistema de aislamiento de contención se describe como el conjunto de estructuras y elementos interrelacionados destinados a lograr el aislamiento de la contención mediante el cierre, por medio de válvulas, de todas las tuberías que atraviesan su pared envolvente, excepto las pertenecientes a sistemas de seguridad, y la parada de los sistemas de ventilación.

Los sucesos básicos de FCC del sistema SM que se muestran a continuación se modelan a Nivel II a potencia, de modo que los resultados obtenidos no afectaran en la simulación para ecuación final de daño al núcleo.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema SM de la CN de estudio que hacen referencia a las válvulas neumáticas de aislamiento:

Suceso básico		C©VN-GT06AB		Modelo indisponibilidad		Demanda	
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC		2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNGT06A/B DE AISLAMIENTO DEL SUMINISTRO DE BAJA CAPACIDAD DEL EDIFICIO DE CONTENCIÓN					
Probabilidad de fallo total			7.06E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común			6.78E-6/d	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.4.1.3: “*AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,49E-01	5,603E+01
$\alpha_2$	5,04E-02	2,977E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,05E+00	9,04E-01	9,60E-02

Suceso básico	C@VN-GT10AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Válvula neumática	Modo de fallo	Al cierre	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNGT10A/B DE AISLAMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE BAJA CAPACIDAD DEL EDIFICIO DE CONTENCIÓN				
Probabilidad de fallo total	7.06E-5/d				
Probabilidad de fallo de causa común	6.78E-6/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 2.4.1.3: “*AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de dos componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,49E-01	5,603E+01
$\alpha_2$	5,04E-02	2,977E+00

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
1,05E+00	9,04E-01	9,60E-02

#### 7.1.15. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KA

El sistema de aire comprimido tiene por objeto dar suministro continuo de aire filtrado, seco y esencialmente libre de aceite para instrumentos y válvulas neumáticas de la central. Asimismo, suministra aire esencialmente libre de aceite, pero sin secar y sin filtrar, para las tomas de aire de servicios generales.

A efectos del análisis, dicho sistema incluye tres compresores de aire con sus correspondientes filtros de aspiración, amortiguadores de pulsaciones, refrigeradores intermedios, refrigeradores posteriores y tanques acumuladores de aire. En operación normal, funciona un compresor seleccionado como “base” mientras que el segundo estará como “primera reserva”, dispuesto a arrancar por baja presión en el colector de descarga. El tercer compresor estará como “segunda reserva” y podrá arrancar si los dos primeros no fueran capaces de cubrir la demanda del sistema.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KA de la CN de estudio que hacen referencia a los compresores mencionados:

Suceso básico	R©KAC01ABC		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Compresores	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS COMPRESORES KAC01A/B/C				
Tasa de fallo total	6.43E-5/h				
Tasa de fallo de causa común	4.76E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.16.1.2: “MOTOR DRIVEN AIR COMPRESSOR FAIL TO RUN”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,94E-01	9,052E+02
$\alpha_2$	3,11E-03	2,834E+00
$\alpha_3$	2,49E-03	2,267E+00

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{CC1}$	$f_{CC2}$	$f_{CC3}$
1,01E+00	9,86E-01	3,09E-03	7,41E-03

Suceso básico	S©KAC01ABC		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Compresores	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	3
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS COMPRESORES KAC01A/B/C				
Probabilidad de fallo total	6.51E-3/d				
Probabilidad de fallo de causa común	2.03E-5/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.16.1.1: “MOTOR DRIVEN AIR COMPRESSOR FAIL TO START”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,92E-01	2,535E+02
$\alpha_2$	7,18E-03	1,834E+00
$\alpha_3$	1,05E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas, se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc1}$	$f_{cc2}$	$f_{cc3}$
1,01E+00	9,83E-01	7,11E-03	3,12E-03

Por otra parte, también se tienen en cuenta las dos bombas del circuito de refrigeración de compresores. En operación normal una bomba está en “auto” y la otra en “apoyo”. Esta última arrancará por alta temperatura del agua de refrigeración a la salida de uno cualquiera de los compresores, y también por disparo de la bomba que estará en marcha.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KA de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico	R©BM-KAP01AB		Modelo indisponibilidad		Misión
Tipo de componente	Bombas motorizadas	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KAP01A/B				
Tasa de fallo total	4.39E-6/h				
Tasa de fallo de causa común	1.34E-7/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico		S©BM-KAP01AB		Modelo indisponibilidad		Demanda
Tipo de componente	Bombas motorizadas	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2	
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KAP01A/B				
Probabilidad de fallo total			4.93E-4/d			
Probabilidad de fallo de causa común			9.71E-6/d	origen		RiskSpectrum®

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.1: “*Generic Demand CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

El factor de causa común para este suceso básico se calcula mediante la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe, teniendo en cuenta que estos componentes están sometidos a una política de pruebas escalonadas.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,80E-01	1,97E-02

#### 7.1.16. Sucesos Básicos de FCC en el modelo del sistema KZ

Se considera dentro de los límites del sistema de alimentación eléctrica no clase y generador diésel esencial la parte del sistema JR que efectúa la transferencia de combustible al tanque diario desde el tanque de almacenamiento de combustible. Incluye tanto las bombas de transferencia como todos los componentes en el camino de flujo.

Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KZ de la CN de estudio que hacen referencia a este tipo de bombas:

Suceso básico		R©BM-JRP01AB		Modelo indisponibilidad		Misión	
Tipo de componente	Bombas de 380 Vca		Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC		2
Descripción		FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE COMBUSTIBLE JRP01A/B					
Tasa de fallo total			5.53E-5/h				
Tasa de fallo de causa común			1.69E-6/h	origen		RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba del generador diesel esencial y de los generadores diesel contraincendios, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S@BM-JRP01AB		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Bombas de 380 Vca	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS JRP01A/B				
Probabilidad de fallo total	6.06E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	1.19E-5/d	origen	RiskSpectrum®		

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 3.1.1: “Generic Demand CCF Distribution”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estas bombas se prueban mensualmente simultáneamente con la prueba del generador diesel esencial y de los generadores diesel contraincendios, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,80E-01	1,97E-02

Por otra parte, se consideran dentro de los límites del sistema los ventiladores de extracción y suministro de la sala del generador diésel esencial. Se detectan dos sucesos básicos de FCC en el modelo del sistema KZ de la CN de estudio que hacen referencia a estos ventiladores:

Suceso básico	R@GEUS04GEEX06		Modelo indisponibilidad	Misión	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	En operación	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GEUS04 Y GEEX06 DE LA SALA DEL GENERADOR DIESEL ESENCIAL				
Tasa de fallo total	3.07E-6/h				
Tasa de fallo de causa común	9.36E-8/h		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.2: “*Generic Rate CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,69E-01	1,508E+03
$\alpha_2$	3,05E-02	4,748E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con el cambio de tren, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc1}$	$f_{cc2}$
9,69E-01	3,05E-02

Suceso básico	S@GEUS04GEEX06		Modelo indisponibilidad	Demanda	
Tipo de componente	Ventilador	Modo de fallo	Al arranque	Nº componentes en grupo FCC	2
Descripción	FALLO DE CAUSA COMÚN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GEUS04 Y GEEX06				
Probabilidad de fallo total	4.24E-4/d				
Probabilidad de fallo de causa común	8.35E-6/d		origen	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “*CCF Parameter Estimations, 2015 Update*” en su apartado 3.1.1: “*Generic Demand CCF Distribution*”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de dos componentes debido a la indisponibilidad de datos específicos para este tipo de bombas.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,80E-01	1,407E+03
$\alpha_2$	1,97E-02	2,827E+01

Para el cálculo del factor de causa común para una política de pruebas escalonadas (estos ventiladores se arrancan mensualmente coincidiendo con la prueba del diésel, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utiliza la ecuación (Ec. 6.1) descrita en el capítulo 6.2 de este informe.

$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$
9,80E-01	1,97E-02

Finalmente se detecta un Suceso Básico de FCC en el modelo del sistema KZ de la CN de estudio que hace referencia a las baterías de alimentación a barras de corriente continua No clase I:

Suceso básico	F©KBAN125123		Modelo indisponibilidad		Espera
Tipo de componente	Batería de 125 Vcc	Modo de fallo	Pérdida de función	Nº componentes en grupo FCC	3
<b>Descripción</b>		FALLO DE CAUSA COMÚN DE LAS BATERÍAS KBAN1251/2/3			
<b>Tasa de fallo total</b>		2.42E-7/h			
<b>Tasa de fallo de causa común</b>		3.41E-9/h	<b>origen</b>	RiskSpectrum®	

Para la obtención de los parámetros Alfa de dicho suceso básico de FCC se hace uso de la información suministrada en el “CCF Parameter Estimations, 2015 Update” en su apartado 2.14.1.1: “DC POWER BATTERY NO OUTPUT SPAR: BAT-LP”, donde se obtiene la distribución de los factores Alfa genéricos para una población de tres componentes.

Factor Alfa	Media	Dist. Par. 1
$\alpha_1$	9,78E-01	5,413E+01
$\alpha_2$	1,73E-02	9,587E-01
$\alpha_3$	4,83E-03	2,672E-01

Para el cálculo de los factores de causa común para una política de pruebas no escalonadas (para este suceso básico solo se ha dado crédito como prueba a la descarga que se realiza en recarga, de acuerdo con la IT-1501\_Rev.9 (Ref. 3)) se utilizan las ecuaciones (Ec. 6.2 y Ec. 6.3) descritas en el capítulo 6.2 de este informe.

$\alpha_{tot}$	$f_{cc_1}$	$f_{cc_2}$	$f_{cc_3}$
1,03E+00	9,52E-01	1,68E-02	1,41E-02

## 7.2. Resultados obtenidos

Los factores de causa común calculados multiplican a la probabilidad o tasa de fallos del suceso independiente, aplicándole el mismo modelo (demanda, misión, espera) que a éste. Se considera que el resultado sigue una distribución similar a la del suceso de fallo independiente.

A continuación, se tabulan los sucesos de fallo de causa común modelados en el APS de la CN de estudio con los resultados obtenidos de cálculo mediante el método del Factor Alfa.



**Tabla 7.1.** Resultados obtenidos para los Sucesos Básicos de FCC con el método Alfa (Fuente: Elaboración propia)

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	fcc <sub>total</sub>	Referencia CCF Estimation 2015	Q <sub>total</sub> Equipo principal	Q <sub>total</sub>
C@VH-AB26ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS DE AISLAMIENTO DE VAPOR PRINCIPAL VHAB26A/B/C	Demanda	3	2.08E-02	2.10.1.2 PWR MSIV FAIL TO CLOSE	7.83E-04	1.63E-05 /d
F@PCV-AB01ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL CONTROL DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESION DE LOS GENERADORES DE VAPOR PCVAB01A/B/C	Misión	3	3.43E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	8.90E-04	3.02E-05 /h
C@VM-AB03ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS DE AISLAMIENTO DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DE LOS GENERADORES DE VAPOR VMAB03A/B/C	Demanda	3	1.42E-02	2.9.2.2 PWR MAIN STEAM PORV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.70E-05 /d
R@BM-ALP01AB	FALLO DE CAUSA COMÚN EN OPERACIÓN DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR ALP01A/B	Misión	2	2.74E-02	2.1.6.3 AFW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN SPAR: MDP-FR-AFW	5.67E-04	1.54E-05 /h
S@BM-ALP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR ALP01A/B	Demanda	2	3.95E-02	2.1.6.1 AFW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START SPAR: MDP-FS-AFW	2.67E-03	1.05E-04 /d
O@HCV-AL05ABCDEF	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS HCV-AL05A/B/C/D/E/F	Demanda	6	2.86E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	6.68E-05	1.91E-07 /d
F@PCV-AL15AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CONTROL DE LAS VÁLVULAS DE CONTROL DE PRESIÓN A LA DESCARGA DE LAS MOTOBOMBAS DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR PCV-AL15A/B	Misión	2	5.92E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	2.80E-06	1.66E-07 /h
O@VM-AB25AC	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS DE SUMINISTRO DE VAPOR A LA TURBOBOMBA DE AGUA DE ALIMENTACIÓN AUXILIAR VMAB25A/C	Demanda	2	2.42E-02	2.3.5.2 AFW MOV FAIL TO OPEN	9.07E-04	2.20E-05 /d
C@VN-BM03ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS DE AISLAMIENTO DE LA PURGA DE CARCASA DE LOS GENERADORES DE VAPOR VNBM03A/B/C	Demanda	3	1.47E-02	2.4.3.3 AFW AOV FAIL TO CLOSE	7.06E-05	1.03E-06 /d
O@VSB-0607	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS DE ALIVIO DEL PRESIONADOR VSB06 (PCV444A) Y VSB07 (PCV445)	Demanda	2	2.84E-02	2.9.3.1 PRESSURIZER PORVS FAIL TO OPEN	1.20E-03	3.39E-05 /d
O@VM-BB01AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS DE AISLAMIENTO DE LAS LÍNEAS DE ALIVIO DEL PRESIONADOR VMBB01A/B	Demanda	2	1.44E-02	2.9.3.1 PRESSURIZER PORVS FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.31E-05 /d
O@BB0252627	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS 3 VÁLVULAS DE SEGURIDAD DEL PRESIONADOR BB025/26/27	Demanda	3	2.32E-02	2.8.4.1 PWR PRESSURIZER CODE SAFETIES FAIL TO OPEN	2.06E-03	4.79E-05 /d
R@BCP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL BCP01A/B	Misión	2	5.30E-02	2.1.10.3 PWR RHR MDP FAIL TO RUN	5.17E-05	2.74E-06 /h
S@BCP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL BCP01A/B	Demanda	2	3.73E-02	2.1.10.1 PWR RHR MDP FAIL TO START	2.13E-03	7.95E-05 /d

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	$f_{cc_{total}}$	Referencia CCF Estimation 2015	$Q_{total}$ Equipo principal	$Q_{total}$
O@VM-BC05AB6AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL DESDE EL SISTEMA DEREFRIGERACIÓN DEL REACTOR CUANDO EL SISTEMA OPERA COMO RHR: VÁLVULAS VMBC05A/B Y VMBC06A/B	Demanda	4	1.32E-02	2.3.7.2 PWR RHR MOV FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.19E-05 /d
C@VM-BC05AB6AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC05A/B Y VMBC06A/B	Demanda	4	1.08E-02	2.3.7.3 PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.29E-05 /d
C@VM-BC01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC01A/B DE AISLAMIENTO DE LA INYECCIÓN A RAMAS FRÍAS DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE CALOR RESIDUAL	Demanda	2	1.02E-02	2.3.7.3 PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.23E-05 /d
C@VM-BC07AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBC07A/B DE RECIRCULACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN	Demanda	2	1.02E-02	2.3.7.3 PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.23E-05 /d
O@VM-BC07AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBC07A/B	Demanda	2	2.32E-02	2.3.7.2 PWR RHR MOV FAIL TO OPEN	9.07E-04	2.11E-05 /d
C@VM-BN01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBN01A/B DE ASPIRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA	Demanda	2	1.02E-02	2.3.7.3 PWR RHR MOV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.23E-05 /d
S@BGP01ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS DOS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN ALINEADAS BGP01A/B/C	Demanda	2	2.78E-03	2.1.9.1 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START	1.89E-03	5.26E-06 /d
R@BGP01ABC	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS DOS BOMBAS DE CARGA ALINEADAS BGP01A/B/C	Misión	2	5.55E-03	2.1.9.3 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN	1.26E-05	6.99E-08 /h
O@VM-BC04AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBC04A/B EN LA LÍNEA DE INTERCONEXIÓN ENTRE LA DESCARGA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN Y LA ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN	Demanda	2	1.84E-02	2.3.6.2 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.67E-05 /d
C@VM-BG22BD	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG22B/D DE ASPIRACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA	Demanda	2	2.02E-02	2.3.6.3 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE	1.20E-03	2.42E-05 /d
O@VM-BJ0203AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE 2 DE LAS 3 VÁLVULAS VMBJ03A/B Y VMBJ02 DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN A RAMAS FRÍAS	Demanda	3	1.18E-02	2.3.6.2 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.07E-05 /d
O@VM-BG22BD	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBG22B/D	Demanda	2	1.84E-02	2.3.6.2 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.67E-05 /d
C@VM-BG22CE	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG22C/E DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN DESDE EL TANQUE DE CONTROL DE VOLUMEN	Demanda	2	2.02E-02	2.3.6.3 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE	1.20E-03	2.42E-05 /d

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	fcc <sub>total</sub>	Referencia CCF Estimation 2015	Q <sub>total</sub> Equipo principal	Q <sub>total</sub>
C@VM-BG24AB25AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS MOTORIZADAS VMBG24A/B Y VMBG25A/B DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA ALTERNATIVA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN	Demanda	4	1.08E-02	2.3.6.3 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.29E-05 /d
O@VM-BG24AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBG24A/B EN LA LÍNEA DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE ALTA PRESIÓN	Demanda	2	1.84E-02	2.3.6.2 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.67E-05 /d
C@VM-BG15ABC16	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBG15A/B/C Y VMBG16 DE RECIRCULACIÓN MÍNIMA DE LAS BOMBAS DE CARGA	Demanda	4	1.08E-02	2.3.6.3 HIGH PRESSURE INJECTION MOTOR OPERATED VALVE FAIL TO CLOSE	1.20E-03	1.29E-05 /d
C@VN-BG5354	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNBG53/54 DE AISLAMIENTO DE LA LÍNEA DE VENTEO DEL COLECTOR DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE CARGA AL TCV	Demanda	2	9.60E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	7.06E-05	6.78E-06 /d
R@BKP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS BKP01A/B DE ROCIADO DE CONTENCIÓN	Misión	2	1.75E-02	2.1.4.3 CONTAINMENT SPRAY MDP-FTR LESS THAN AND >1 HOUR	5.43E-05	9.50E-07 /h
S@BKP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS BKP01A/B	Demanda	2	4.81E-02	2.1.4.1 CONTAINMENT SPRAY MDP FAIL TO START	2.15E-03	1.03E-04 /d
R@GLUC07AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE REFRIGEACIÓN GLUC07A/B DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN	Misión	2	5.92E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.74E-05	1.03E-06 /h
S@GLUC07AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN GLUC07A/B	Demanda	2	3.86E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	6.33E-04	2.45E-05 /d
C@VM-BK02AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VMBK02A/B DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN DESDE EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE RECARGA	Demanda	2	1.76E-02	2.3.2.3 CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO CLOSE	1.20E-03	2.11E-05 /d
O@VMBK3AB4AB14AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBK04A/B, VMBK03A/B Y VMBK14A/B DE ASPIRACIÓN DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN Y DE LAS BOMBAS DE INYECCIÓN DE BAJA PRESIÓN DESDE LOS SUMIDEROS DE CONTENCIÓN	Demanda	6	3.27E-03	2.3.2.2 CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO OPEN	9.07E-04	2.96E-06 /d
O@VM-BK13AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VMBK13A/B EN LA LÍNEA DE DESCARGA DE LAS BOMBAS DE ROCIADO DE CONTENCIÓN	Demanda	2	1.25E-02	2.3.2.2 CONTAINMENT SPRAY MOV FAIL TO OPEN	9.07E-04	1.13E-05 /d
R@EGP01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE REFRIGERACIÓN DE COMPONENTES: EGP01A/B/C/D	Misión	4	4.01E-03	2.1.3.3. CLEAN SYSTEM MDP-FTR LESS THAN AND > 1 HOUR	1.13E-05	4.53E-08 /h
S@EGP01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE REFRIGERACIÓN DE COMPONENTES EGP01A/B/C/D	Demanda	4	2.39E-03	2.1.3.1. CLEAN SYSTEM MOTOR DRIVEN PUMPS FAIL TO START	1.89E-03	4.52E-06 /d

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	$f_{cc}^{total}$	Referencia CCF Estimation 2015	$Q_{total}$ Equipo principal	$Q_{total}$
R©GNU01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN DE CONTENCIÓN GNU01A/B/C/D	Misión	4	5.46E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	7.29E-06	3.98E-08 /h
S©GNU01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES DE REFRIGERACIÓN DE CONTENCIÓN GNU01A/B/C/D	Demanda	4	2.60E-03	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	1.19E-03	3.09E-06 /d
C©VN-EG26AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNEG26A/B	Demanda	2	9.60E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	7.06E-05	6.78E-06 /d
O©VN-EG27AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS VNEG27A/B	Demanda	2	3.86E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	4.89E-05	1.89E-06 /d
R©EJP01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS CUATRO BOMBAS DE SISTEMA DE AGUA DE SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS EJP01A/B/C/D	Misión	4	1.41E-03	2.1.8.4. STANDBY SERVICE WATER MDP FAIL TO RUN	7.46E-06	1.05E-08 /h
S©EJP01ABCD	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS CUATRO BOMBAS DE AGUA DE SALVAGUARDIAS TECNOLÓGICAS EJP01A/B/C/D	Demanda	4	1.35E-03	2.1.8.3. STANDBY SERVICE WATER MDP FAIL TO START	2.15E-03	2.91E-06 /d
R©EJUV01020304AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES EJUV01/02/03/04A/B	Misión	8	3.65E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.39E-05	5.07E-08 /h
R©GA-EX03AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DEL EJ ALINEADAS GA-EX03A/B	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	3.07E-06	9.33E-08 /h
S©GA-EX03AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES DE LAS SALAS DE LAS BOMBAS DE EJ ALINEADAS GA-EX03A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	4.24E-04	8.35E-06 /d
S©EJUV01020304AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES EJUV	Demanda	8	1.18E-04	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.86E-04	3.37E-08 /d
R©BM-GJP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP01A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA (380 V)	Misión	2	1.09E-02	2.1.12.2 CCW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO RUN	3.01E-05	3.28E-07 /h
S©BM-GJP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP01A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA (380 V)	Demanda	2	4.20E-04	2.1.12.1 CCW MOTOR DRIVEN PUMP FAIL TO START	5.70E-04	2.39E-07 /d
R©BM-GJP02AB03AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP02A/B Y GJP03A/B DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA	Misión	4	4.01E-03	2.1.3.3 CLEAN SYSTEM MDP-FTR LESS THAN AND > 1 HOUR	3.01E-05	1.21E-07 /h
S©BM-GJP02AB03AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS MOTORIZADAS GJP02A/B Y GJP03A/B	Demanda	4	2.39E-03	2.1.3.1 CLEAN SYSTEM MOTOR DRIVEN PUMPS FAIL TO START	5.70E-04	1.36E-06 /d
R©GJCH01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS UNIDADES DE ENFRIAMIENTO DEL SISTEMA ESENCIAL DE AGUA ENFRIADA GJCH01A/B	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.84E-03	5.61E-05 /h
S©GJCH01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS UNIDADES GJCH01A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	3.22E-02	6.34E-04 /d
R©GJUV0123A12	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GJ-UV01A01/2, GJ-UV02A01/2 Y GJ-UV03A01/2	Demanda	6	1.08E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.39E-05	1.51E-07 /h

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	fcc <sub>total</sub>	Referencia CCF Estimation 2015	Q <sub>total</sub> Equipo principal	Q <sub>total</sub>
R©GJUV0123B12	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GJ-UV01B01/2, GJ-UV02B01/2 Y GJ-UV03B01/3	Demanda	6	1.08E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.39E-05	1.51E-07 /h
S©GJUV0123A12	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GJ-UV01A01/2, GJ-UV02A01/2 Y GJ-UV03A01/2	Demanda	6	4.94E-04	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.86E-04	1.41E-07 /d
S©GJUV0123B12	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GJ-UV01B01/2, GJ-UV02B01/2 Y GJ-UV03B01/3	Demanda	6	4.94E-04	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.86E-04	1.41E-07 /d
O©VN-GJ15AB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LAS VÁLVULAS NEUMÁTICAS VNGJ51A/B	Demanda	2	3.86E-02	2.4.1.2 AOV FAIL TO OPEN ALL SYSTEMS	4.89E-05	1.89E-06 /d
C©VN-GJ525354AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS DE AISLAMIENTO ENTRE LOS SISTEMAS GB Y GJ VNGJ52A/B, VNGJ53A/B Y VNGJ54A/B	Demanda	6	1.27E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	7.06E-05	8.94E-07 /d
R©GD-AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA GDA/B	Misión	2	1.57E-02	2.11.1.3 EMERGENCY DIESEL GENERATOR SPAR: DGN-FR	3.36E-03	5.28E-05 /h
S©GD-AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS GENERADORES GDA/B	Demanda	2	9.58E-03	2.11.1.1 EMERGENCY DIESEL GENERATOR SPAR: DGN-FS	3.70E-03	3.54E-05 /d
R©BM-JEP0102AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS JEP01A/B Y JEP02A/B DE TRASIEGO DE GASOIL ENTRE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y EL TANQUE DIARIO DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA	Misión	4	5.46E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	5.53E-05	3.02E-07 /h
S©BM-JEP0102AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS JEP01A/B Y JEP02A/B	Demanda	4	2.60E-03	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	6.06E-04	1.58E-06 /d
R©KJP4041AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KJP40A/B Y KJP41A/B	Misión	4	5.46E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	3.01E-05	1.64E-07 /h
S©KJP4041AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KJP40A/B Y KJP41A/B	Demanda	4	2.60E-03	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	5.70E-04	1.48E-06 /d
R©KJP4243AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KJP42A/B Y KJP43A/B	Misión	4	5.46E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	3.01E-05	1.64E-07 /h
S©KJP4243AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KJP42A/B Y KJP43A/B	Demanda	4	2.60E-03	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	5.70E-04	1.48E-06 /d
R©GMUS01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GMUS01A/B DE SUMINISTRO DE AIRE A LAS SALAS DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.19E-04	3.63E-06 /h
S©GMUS01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GMUS01A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	8.20E-04	1.62E-05 /d
R©GMEX01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GMEX01A/B DE EXTRACCIÓN DE AIRE A LAS SALAS DE LOS GENERADORES DIESEL DE EMERGENCIA	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.19E-04	3.63E-06 /h
S©GMEX01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GMEX01A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	8.20E-04	1.62E-05 /d
R©KJUVA12	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES KJ-UV20A01/2, KJ-UV21A01/2, KJ-UV22A01/2 Y KJ-UV23A01/2	Misión	8	3.65E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.39E-05	5.07E-08 /h

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	fcc <sub>total</sub>	Referencia CCF Estimation 2015	Q <sub>total</sub> Equipo principal	Q <sub>total</sub>
R©KJUVB12	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES KJUV20B01/2, KJ-UV21B01/2, KJ-UV22B0/2 Y KJ-UV23B01/3	Misión	8	3.65E-03	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	1.39E-05	5.07E-08 /h
S©KJUVA12	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES KJ-UV20A01/2, KJ-UV21A01/2, KJ-UV22A01/2 Y KJ-UV23A01/2	Demanda	8	1.18E-04	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.86E-04	3.37E-08 /d
S©KJUVB12	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES KJ-UV20B01/2, KJ-UV21B01/2, KJ-UV22B01/2 Y KJ-UV23B01/3	Demanda	8	1.18E-04	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.86E-04	3.37E-08 /d
O©526A97A10	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE 6.25 kV DE ALIMENTACIÓN A LAS BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A DESDE LOS TRANSFORMADORES TAU Y TAE (CUANDO 6A SE ALIMENTA DESDE TAU Y 7A DESDE TAE)	Demanda	2	3.32E-02	2.13.2.1 ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO OPEN	7.94E-05	2.64E-06 /d
O©526A47A17	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE 6.25 kV DE ALIMENTACIÓN A LAS BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A DESDE LOS TRANSFORMADORES TAU Y TAE (CUANDO 6A SE ALIMENTA DESDE TAE Y 7A DESDE TAU)	Demanda	2	3.32E-02	2.13.2.1 ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO OPEN	7.94E-05	2.64E-06 /d
C©526A49527A1017	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LOS CUATRO INTERRUPTORES 526A4/9 Y 527A10/17 DE ALIMENTACION DESDE LOS TRANSFORMADORES TAE Y TAU A LAS BARRAS DE SALVAGUARDIAS 6A Y 7A	Demanda	4	6.89E-03	2.13.2.2 ACP 4160 AND 6.9 CIRCUIT BREAKERS FAIL TO CLOSE	1.69E-03	1.16E-05 /d
F©KBAV-LARGO	FALLO DE CAUSA COMUN DE LAS BATERÍAS KBAV1251/2/3/4/5/6/7 (A LARGO PLAZO)	Espera	7	7.78E-04	2.14.1.1 DC POWER BATTERY NO OUTPUT SPAR: BAT-LP	2.42E-07	1.88E-10 /h
F©KBAV1251234567	FALLO DE CAUSA COMUN DE LAS BATERÍAS KBAV1251/2/3/4/5/6/7 (A CORTO PLAZO)	Espera	7	7.78E-04	2.14.1.1 DC POWER BATTERY NO OUTPUT SPAR: BAT-LP	2.42E-07	1.88E-10 /h
O©52RTAB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA APERTURA DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR 52RTA/B	Demanda	2	2.25E-02	2.15.1.1 REACTOR TRIP BREAKERS FAIL TO OPEN	1.52E-05	3.42E-07 /d
D©UV-52/RTAB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA DESENERGIZACIÓN DE LAS BOBINAS DE DISPARO DE MÍNIMA TENSIÓN DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR	Demanda	2	3.86E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	3.67E-04	1.42E-05 /d
E©SH-52/BYAB	FALLO DE CAUSA COMUN A LA ENERGIZACIÓN DE LAS BOBINAS DE DISPARO "SHUNT" DE LOS INTERRUPTORES DE DISPARO DEL REACTOR	Demanda	2	3.86E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	2.99E-04	1.16E-05 /d
C©VN-GT06AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNGT06A/B DE AISLAMIENTO DEL SUMINISTRO DE BAJA CAPACIDAD DEL EDIFICIO DE CONTENCIÓN	Demanda	2	9.60E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	7.06E-05	6.78E-06 /d
C©VN-GT10AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL CIERRE DE LAS VÁLVULAS VNGT10A/B DE AISLAMIENTO DE LA EXTRACCIÓN DE BAJA CAPACIDAD DEL EDIFICIO DE CONTENCIÓN	Demanda	2	9.60E-02	2.4.1.3 AOV FAIL TO CLOSE ALL SYSTEMS	7.06E-05	6.78E-06 /d

SUCESOS BÁSICOS	DESCRIPCIÓN	MODELO	Pob.	$f_{cc\text{total}}$	Referencia CCF Estimation 2015	$Q_{\text{total}}$ Equipo principal	$Q_{\text{total}}$
R©BM-KAP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS KAP01A/B	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	4.39E-06	1.34E-07 /h
S©BM-KAP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS KAP01A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	4.93E-04	9.71E-06 /d
R©KAC01ABC	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS COMPRESORES KAC01A/B/C	Misión	3	7.41E-03	2.16.1.2 MOTOR DRIVEN AIR COMPRESSOR FAIL TO RUN	6.43E-05	4.76E-07 /h
S©KAC01ABC	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS COMPRESORES KAC01A/B/C	Demanda	3	3.12E-03	2.16.1.1 MOTOR DRIVEN AIR COMPRESSOR FAIL TO START	6.51E-03	2.03E-05 /d
R©BM-JRP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LAS BOMBAS DE TRANSFERENCIA DE COMBUSTIBLE JRP01A/B	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	5.53E-05	1.69E-06 /h
S©BM-JRP01AB	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LAS BOMBAS JRP01A/B	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	6.06E-04	1.19E-05 /d
R©GEUS04GEEX06	FALLO DE CAUSA COMUN EN OPERACIÓN DE LOS VENTILADORES GEUS04 Y GEEX06 DE LA SALA DEL GENERADOR DIESEL ESENCIAL	Misión	2	3.05E-02	3.1.2 GENERIC RATE CCF DISTRIBUTION	3.07E-06	9.36E-08 /h
S©GEUS04GEEX06	FALLO DE CAUSA COMUN AL ARRANQUE DE LOS VENTILADORES GEUS04 Y GEEX06	Demanda	2	1.97E-02	3.1.1 GENERIC DEMAND CCF DISTRIBUTION	4.24E-04	8.35E-06 /d
F©KBAN125123	FALLO DE CAUSA COMUN DE LAS BATERÍAS KBAN1251/2/3	Espera	3	1.41E-02	2.14.1.1 DC POWER BATTERY NO OUTPUT SPAR: BAT-LP	2.42E-07	3.41E-09 /h

## 8. Comparativa entre los valores de probabilidad de los SB de FCC disponibles y los nuevos calculados

En los capítulos anteriores del presente informe se han detallado los métodos más comúnmente utilizados para determinar las probabilidades de los Fallos de Causa Común. La Central Nuclear de estudio empleaba el método de las MLG hasta el momento, que ha sido reemplazado por el método de los Factores Alfa en la realización de este estudio.

Ambas metodologías comparten algunos aspectos: los sucesos básicos de fallo independiente siguen siendo los mismos, por lo tanto, las probabilidades de fallo de componentes utilizadas en el cálculo de los factores de causa común también se mantendrán idénticas. En cambio, la formulación utilizada para el cálculo de estos factores es distinta en ambos casos, es por ello por lo que la probabilidad final del suceso básico de FCC es distinta para cada modelo.

Además, con el método del Factor Alfa se calcula la probabilidad de todas las posibles combinaciones de fallos dentro de un Grupo de FCC, eso es la probabilidad de fallo de cada Evento de FCC. *RiskSpectrum*® proporciona este valor de probabilidad en demanda, igual que sucedía con la probabilidad total del suceso básico de FCC. A su vez, este valor se corresponde con el producto de la probabilidad de fallo del componente, en su fallo independiente, por el factor de causa común equivalente a la combinación determinada.

La FDN no se ha visto reducida a pesar del cambio de metodología con la utilización del método de los Factores Alfa, tal y como se ha comprobado en el apartado 6.5. “Resultados obtenidos con el método del Factor Alfa”. Este hecho implica que, aunque las probabilidades de los sucesos básicos de FCC se han visto reducidas en la mayoría de los casos con la sustitución del método anterior, ahora se tienen en cuenta todas las posibles combinaciones de fallos para cada Grupo de FCC, incluyendo el fallo de un único componente y el fallo de todos ellos, las probabilidades de las cuales influyen en el cálculo de la FDN.

A continuación, se muestra en la Tabla 8.1 una comparativa entre los resultados de las MLG y los nuevos resultados obtenidos con la aplicación del método del Factor Alfa en el cálculo de probabilidades de FCC, incluyendo la tasa de variación del factor de causa común en cada caso.

Además, la Tabla A.5 del Anexo A muestra la posición que ocupan ahora los FCC en comparación a la que ocupaban antes en la lista de Eventos Básicos de mayor influencia en el cálculo de la FDN, obtenida en la simulación del modelo. Se considera únicamente el fallo de causa común total en los resultados del método del Factor Alfa.



**Tabla 8.1.** Comparativa de resultados obtenidos para las probabilidades de FCC (Fuente: elaboración propia)

ID antiguo	ID nuevo	fcc MLG	fcc <sub>Total</sub> Alfa Factor	Variación	Q <sub>MLG</sub>	Q <sub>ALFA</sub>	Q <sub>1_Alfa</sub>	Q <sub>2_Alfa</sub>	Q <sub>3_Alfa</sub>	Q <sub>4_Alfa</sub>	Q <sub>5_Alfa</sub>	Q <sub>6_Alfa</sub>	Q <sub>7_Alfa</sub>	Q <sub>8_Alfa</sub>	d/h
ABVHAB26L	C@VH-AB26ABC	2.70E-02	2.08E-02	-22.86%	2.11E-05	1.63E-05	6.88E-04	3.96E-05	1.63E-05						d
ABVHH1NAB01L	F@PCV-AB01ABC	1.35E-02	3.43E-02	153.95%	1.20E-05	3.02E-05	8.30E-04	1.48E-05	3.02E-05						h
ABVMAB03L	C@VM-AB03ABC	8.68E-03	1.42E-02	63.17%	1.04E-05	1.70E-05	1.15E-03	1.78E-05	1.70E-05						d
ALBMAL501ABG	R@BM-ALP01AB	4.21E-02	2.74E-02	-34.92%	2.39E-05	1.54E-05	5.46E-04	1.54E-05							h
ALBMAL501ABL	S@BM-ALP01AB	1.79E-01	3.95E-02	-77.93%	4.79E-04	1.05E-04	2.56E-03	1.05E-04							d
ALVHAL05L	O@HCVAL05ABCDE	1.85E-02	2.86E-03	-84.55%	1.23E-06	1.91E-07	6.32E-05	1.88E-07	9.95E-08	8.39E-08	1.19E-07	1.91E-07			d
ALVHAL15ABL	F@PCV-AL15AB	5.00E-02	5.92E-02	18.39%	1.40E-07	1.66E-07	2.64E-06	1.66E-07							h
ALVMAB25AHL	O@VM-AB25AC	1.19E-02	2.42E-02	103.36%	1.08E-05	2.20E-05	8.86E-04	2.20E-05							d
ALVNB03ABHL	C@VN-BM03ABC	2.70E-02	1.47E-02	-45.71%	1.91E-06	1.03E-06	6.61E-05	1.73E-06	1.03E-06						d
BBVAVSB067L	O@VSB0607	1.86E-01	2.84E-02	-84.74%	2.22E-04	3.39E-05	1.16E-03	3.39E-05							d
BBVMAB01ABL	O@VM-BB01AB	1.19E-02	1.44E-02	21.01%	1.08E-05	1.31E-05	8.94E-04	1.31E-05							d
BBVSAB02567L	O@BB0252627	2.70E-02	2.32E-02	-13.99%	5.57E-05	4.79E-05	1.92E-03	4.98E-05	4.79E-05						d
BHBMAB01ABG	R@BCP01AB	3.69E-03	5.30E-02	1336.31%	1.91E-07	2.74E-06	4.88E-05	2.74E-06							h
BHBMAB01ABL	S@BCP01AB	5.41E-03	3.73E-02	589.46%	1.16E-05	7.95E-05	2.05E-03	7.95E-05							d
BHVM0605ABL	O@VM-BC05AB6AB	7.40E-03	1.32E-02	77.85%	6.71E-06	1.19E-05	8.45E-04	1.14E-05	5.43E-06	1.19E-05					d
BHVM0506ABHIL	C@VM-BC05AB6AB	7.00E-03	1.08E-02	53.68%	8.42E-06	1.29E-05	1.14E-03	1.19E-05	5.87E-06	1.29E-05					d
BHVMBH01ABL	C@VM-BC01AB	1.49E-02	1.02E-02	-31.54%	1.79E-05	1.23E-05	1.19E-03	1.23E-05							d
BHVMBH07ABHL	C@VM-BC07AB	1.49E-02	1.02E-02	-31.54%	1.79E-05	1.23E-05	1.19E-03	1.23E-05							d
BHVMBH07AB1L	O@VM-BC07AB	1.55E-02	2.32E-02	49.68%	1.41E-05	2.11E-05	8.86E-04	2.11E-05							d
BHVMBN001ABL	C@VM-BN01AB	1.49E-02	1.02E-02	-31.54%	1.79E-05	1.23E-05	1.19E-03	1.23E-05							d
BJBMA501ABHL	S@BGP01ABC	2.78E-02	2.78E-03	-90.00%	5.27E-05	5.26E-06	1.88E-03	4.58E-06	5.26E-06						d

ID antiguo	ID nuevo	fcc MLG	fcc <sup>Total</sup> Alfa Factor	Variación	Q <sub>MLG</sub>	Q <sub>ALFA</sub>	Q <sub>1_Alfa</sub>	Q <sub>2_Alfa</sub>	Q <sub>3_Alfa</sub>	Q <sub>4_Alfa</sub>	Q <sub>5_Alfa</sub>	Q <sub>6_Alfa</sub>	Q <sub>7_Alfa</sub>	Q <sub>8_Alfa</sub>	d/h
BJBM1501ABHG	R©BGP01ABC	2.04E-02	5.55E-03	-72.79%	2.57E-07	6.99E-08	1.22E-05	1.67E-07	6.99E-08						h
BJVMA5BH04ABL	O©VM-BC04AB	3.04E-02	1.84E-02	-39.44%	2.76E-05	1.67E-05	8.91E-04	1.67E-05							d
BJVMBG22BDL	C©VM-BG22BD	2.94E-02	2.02E-02	-31.31%	3.54E-05	2.42E-05	1.18E-03	2.42E-05							d
BJVMA5BJ3AB2L	O©VM-BJ0203AB	6.84E-03	1.18E-02	71.91%	6.21E-06	1.07E-05	8.75E-04	1.11E-05	1.07E-05						d
BJVMA5BG22BDL	O©VM-BG22BD	3.04E-02	1.84E-02	-39.44%	2.76E-05	1.67E-05	8.91E-04	1.67E-05							d
BJVMBG22HEL	C©VM-BG22CE	2.94E-02	2.02E-02	-31.31%	3.54E-05	2.42E-05	1.18E-03	2.42E-05							d
BJVMBG2425ABL	C©VM-BG24AB25AB	7.00E-03	1.08E-02	53.65%	8.42E-06	1.29E-05	1.14E-03	1.19E-05	5.87E-06	1.29E-05					d
BJVMBG24ABL	O©VM-BG24AB	3.04E-02	1.84E-02	-39.44%	2.76E-05	1.67E-05	8.91E-04	1.67E-05							d
BJVMH15ABH16L	C©VM-BG15ABC16	7.00E-03	1.08E-02	53.65%	8.42E-06	1.29E-05	1.14E-03	1.19E-05	5.87E-06	1.29E-05					d
BJVNBG5354L	C©VN-BG5354	1.00E-01	9.60E-02	-4.03%	7.06E-06	6.78E-06	6.38E-05	6.78E-06							d
BKBMA501G	R©BKP01AB	1.00E-01	1.75E-02	-82.50%	5.43E-06	9.50E-07	5.33E-05	9.50E-07							h
BKBMA501L	S©BKP01AB	8.70E-02	4.81E-02	-44.71%	1.87E-04	1.03E-04	2.04E-03	1.03E-04							d
BKFHGLUH07ABG	R©GLUC07AB	6.15E-02	5.92E-02	-3.75%	1.07E-06	1.03E-06	1.63E-05	1.03E-06							h
BKFHGLUH07ABL	S©GLUC07AB	7.41E-02	3.86E-02	-47.86%	4.69E-05	2.45E-05	6.09E-04	2.45E-05							d
BKVMA502L	C©VM-BK02AB	1.49E-02	1.76E-02	18.12%	1.79E-05	2.11E-05	1.18E-03	2.11E-05							d
BKVMA5040314L	O©VMBK3AB4AB14AB	7.40E-03	3.27E-03	-55.85%	6.72E-06	2.96E-06	8.37E-04	5.31E-06	2.03E-06	1.41E-06	1.32E-06	2.96E-06			d
BKVMA513L	O©VM-BK13AB	1.55E-02	1.25E-02	-19.35%	1.41E-05	1.13E-05	8.96E-04	1.13E-05							d
EGBMEG501G	R©EGP01ABCD	1.73E-02	4.01E-03	-76.82%	1.95E-07	4.53E-08	1.09E-05	7.88E-08	3.57E-08	4.53E-08					h
EGBMEG501L	S©EGP01ABCD	1.73E-02	2.39E-03	-86.18%	3.28E-05	4.52E-06	1.86E-03	5.68E-06	2.86E-06	4.52E-06					d
EGFHG01G	R©G01ABCD	2.33E-02	5.46E-03	-76.57%	1.70E-07	3.98E-08	7.08E-06	3.13E-08	2.13E-08	3.98E-08					h
EGFHG01L	S©G01ABCD	2.95E-02	2.60E-03	-91.19%	3.51E-05	3.09E-06	1.16E-03	5.35E-06	2.22E-06	3.09E-06					d

ID antiguo	ID nuevo	fcc MLG	fcc <sub>Total</sub> Alfa Factor	Variación	Q <sub>MLG</sub>	Q <sub>ALFA</sub>	Q <sub>1_Alfa</sub>	Q <sub>2_Alfa</sub>	Q <sub>3_Alfa</sub>	Q <sub>4_Alfa</sub>	Q <sub>5_Alfa</sub>	Q <sub>6_Alfa</sub>	Q <sub>7_Alfa</sub>	Q <sub>8_Alfa</sub>	d/h
EGVN26ABL	C@VN-EG26AB	1.00E-01	9.60E-02	-4.03%	7.06E-06	6.78E-06	6.38E-05	6.78E-06							d
EGVN27ABL	O@VN-EG27AB	1.00E-01	3.86E-02	-61.36%	4.89E-06	1.89E-06	4.71E-05	1.89E-06							d
EJBMEJ501G	R@EJP01ABCD	1.87E-03	1.41E-03	-24.60%	1.40E-08	1.05E-08	7.17E-06	7.33E-08	2.24E-08	1.05E-08					h
EJBMEJ501L	S@EJP01ABCD	9.45E-03	1.35E-03	-85.71%	2.04E-05	2.91E-06	2.09E-03	1.61E-05	3.93E-06	2.91E-06					d
EJFAEJUUVG	R@EJUV01020304AB	1.87E-02	3.65E-03	-80.49%	2.60E-07	5.07E-08	1.29E-05	1.58E-08	6.54E-09	5.38E-09	5.58E-09	8.25E-09	1.50E-08	5.07E-08	h
EJFAGAEX03G	R@GA-EX03AB	3.17E-02	3.05E-02	-3.79%	9.72E-08	9.33E-08	2.97E-06	9.33E-08							h
EJFAGAEX03L	S@GA-EX03AB	3.85E-02	1.97E-02	-48.83%	1.63E-05	8.35E-06	4.16E-04	8.35E-06							d
EJFAEJUUVL	S@EJUV01020304AB	3.70E-02	1.18E-04	-99.68%	1.06E-05	3.37E-08	2.82E-04	2.16E-07	4.81E-08	2.28E-08	1.75E-08	1.87E-08	2.40E-08	3.37E-08	d
GJBM501ABG	R@BM-GJP01AB	7.50E-02	1.09E-02	-85.47%	2.26E-06	3.28E-07	2.98E-05	3.28E-07							h
GJBM501ABL	S@BM-GJP01AB	7.50E-02	4.20E-04	-99.44%	4.27E-05	2.39E-07	5.67E-04	2.39E-06							d
GJBM5023ABG	R@BM-GJP02AB03AB	3.10E-02	4.01E-03	-87.06%	9.33E-07	1.21E-07	2.90E-05	2.10E-07	9.50E-08	1.21E-07					h
GJBM5023ABL	S@BM-GJP02AB03AB	3.10E-02	2.39E-03	-92.29%	1.77E-05	1.36E-06	5.61E-04	1.71E-06	8.62E-07	1.36E-06					d
GJHH01ABG	R@GJCH01AB	2.94E-02	3.05E-02	3.74%	5.42E-05	5.61E-05	1.75E-03	5.61E-05							h
GJHH01ABL	S@GJCH01AB	2.94E-02	1.97E-02	-32.99%	9.48E-04	6.34E-04	3.16E-02	6.34E-04							d
GJFAUVAYBG	R@GJUV0123A12	1.87E-02	1.08E-02	-42.08%	2.60E-07	1.51E-07	1.29E-05	3.35E-08	2.45E-08	2.48E-08	3.40E-08	1.51E-07			h
GJFAUVAYBG	R@GJUV0123B12	1.87E-03	1.08E-02	479.16%	2.60E-07	1.51E-07	5.38E-07	3.35E-08	2.45E-08	2.48E-08	3.40E-08	1.51E-07			h
GJFAUVAYBL	S@GJUV0123A12	3.70E-02	4.94E-04	-98.66%	1.06E-05	1.41E-07	2.81E-04	4.19E-07	1.47E-07	9.33E-08	1.06E-07	1.41E-07			d
GJFAUVAYBL	S@GJUV0123B12	3.70E-03	4.94E-04	-86.65%	1.06E-05	1.41E-07	2.81E-04	4.19E-07	1.47E-07	9.33E-08	1.06E-07	1.41E-07			d
GJVN51ABL	O@VN-GJ15AB	1.00E-01	3.86E-02	-61.36%	4.89E-06	1.89E-06	4.71E-05	1.89E-06							d
GJVN525354ABL	C@VN-GJ525354AB	1.85E-02	1.27E-02	-31.55%	1.30E-06	8.94E-07	6.22E-05	4.04E-07	1.79E-07	1.65E-07	4.07E-07	8.94E-07			d
KJGDAGDBG	R@GD-AB	1.39E-02	1.57E-02	12.95%	4.68E-05	5.28E-05	3.28E-03	5.28E-05							h
KJGDAGDBL	S@GD-AB	7.84E-03	9.58E-03	22.19%	2.90E-05	3.54E-05	3.67E-03	3.54E-05							d

ID antiguo	ID nuevo	fcc MLG	fcc <sub>Total</sub> Alfa Factor	Variación	Q <sub>MLG</sub>	Q <sub>ALFA</sub>	Q <sub>1_Alfa</sub>	Q <sub>2_Alfa</sub>	Q <sub>3_Alfa</sub>	Q <sub>4_Alfa</sub>	Q <sub>5_Alfa</sub>	Q <sub>6_Alfa</sub>	Q <sub>7_Alfa</sub>	Q <sub>8_Alfa</sub>	d/h
KJBMJE5012ABG	R©BM-JEP0102AB	3.10E-02	5.46E-03	-82.39%	1.71E-06	3.02E-07	5.38E-05	2.38E-07	1.62E-07	3.02E-07					h
KJBMJE5012ABL	S©BM-JEP0102AB	3.10E-02	2.60E-03	-91.61%	1.88E-05	1.58E-06	5.93E-04	2.73E-06	1.13E-06	1.58E-06					d
KJBM54041ABG	R©KJP4041AB	3.10E-02	5.46E-03	-82.39%	9.33E-07	1.64E-07	2.93E-05	1.29E-07	8.80E-08	1.64E-07					h
KJBM54041ABL	S©KJP4041AB	3.10E-02	2.60E-03	-91.61%	1.77E-05	1.48E-06	5.57E-04	2.56E-06	1.06E-06	1.48E-06					d
KJBM54243ABG	R©KJP4243AB	3.10E-02	5.46E-03	-82.39%	9.33E-07	1.64E-07	2.93E-05	1.29E-07	8.80E-08	1.64E-07					h
KJBM54243ABL	S©KJP4243AB	3.10E-02	2.60E-03	-91.61%	1.77E-05	1.48E-06	5.57E-04	2.56E-06	1.06E-06	1.48E-06					d
KJFAGMUS01ABG	R©GMUS01AB	3.17E-02	3.05E-02	-3.79%	3.78E-06	3.63E-06	1.15E-04	3.63E-06							h
KJFAGMUS01ABL	S©GMUS01AB	3.85E-02	1.97E-02	-48.83%	3.15E-05	1.62E-05	8.04E-04	1.62E-05							d
KJFAGMEX01ABG	R©GMEX01AB	3.70E-02	3.05E-02	-17.57%	3.78E-06	3.63E-06	1.15E-04	3.63E-06							h
KJFAGMEX01ABL	S©GMEX01AB	3.85E-02	1.97E-02	-48.83%	3.15E-05	1.62E-05	8.04E-04	1.62E-05							d
KJFAUVAYBG	R©KJUVA12	1.87E-02	3.65E-03	-80.49%	2.60E-07	5.07E-08	1.29E-05	1.58E-08	6.53E-09	5.37E-09	5.57E-09	8.25E-09	1.53E-08	5.07E-08	h
KJFAUVAYBG	R©KJUVB12	1.87E-03	3.65E-03	95.05%	2.60E-07	5.07E-08	2.16E-06	1.58E-08	6.53E-09	5.37E-09	5.57E-09	8.25E-09	1.53E-08	5.07E-08	h
KJFAUVAYBL	S©KJUVA12	3.70E-02	1.18E-04	-99.68%	1.06E-05	3.37E-08	2.82E-04	2.16E-07	4.81E-08	2.28E-08	1.75E-08	1.87E-08	2.40E-08	3.37E-08	d
KJFAUVAYBL	S©KJUVB12	3.70E-03	1.18E-04	-96.81%	1.06E-05	3.37E-08	2.82E-04	2.16E-07	4.81E-08	2.28E-08	1.75E-08	1.87E-08	2.40E-08	3.37E-08	d
5BIA6A97A10L	O©526A97A10	1.36E-01	3.32E-02	-75.59%	1.08E-05	2.64E-06	1.63E-03	2.64E-06							d
5BIA6A47A17L	O©526A47A17	1.36E-01	3.32E-02	-75.59%	1.08E-05	2.64E-06	7.67E-05	2.64E-06							d
5BIA52TAETAUL	C©526A49527A1017	7.23E-02	6.89E-03	-90.47%	1.23E-04	1.16E-05	1.63E-03	1.07E-05	5.31E-06	1.17E-05					d
5KKBAV125A7L	F©KBAV-LARGO	2.22E-03	7.78E-04	-64.97%	5.37E-10	1.88E-10	2.23E-07	1.06E-09	3.26E-10	1.87E-10	1.62E-10	1.73E-10	1.88E-10		h
5KKBAV125A7HL	F©KBAV1251234567	2.22E-03	7.78E-04	-64.97%	5.37E-10	1.88E-10	2.23E-07	1.06E-09	3.26E-10	1.87E-10	1.62E-10	1.73E-10	1.88E-10		h
QVIDINTDIS5L	O©52RTAB	4.00E-02	2.25E-02	-43.75%	6.06E-07	3.42E-07	1.48E-05	3.42E-07							d

ID antiguo	ID nuevo	fcc MLG	fcc <sub>Total</sub> Alfa Factor	Variación	Q <sub>MLG</sub>	Q <sub>ALFA</sub>	Q <sub>1_Alfa</sub>	Q <sub>2_Alfa</sub>	Q <sub>3_Alfa</sub>	Q <sub>4_Alfa</sub>	Q <sub>5_Alfa</sub>	Q <sub>6_Alfa</sub>	Q <sub>7_Alfa</sub>	Q <sub>8_Alfa</sub>	d/h
QVBX4RELESL	D@UV-52/RTAB	3.03E-01	3.86E-02	-87.25%	1.11E-04	1.42E-05	3.53E-04	1.42E-05							d
QVBS4RELESL	E@SH-52/BYAB	1.00E-01	3.86E-02	-61.36%	2.99E-05	1.16E-05	2.87E-04	1.16E-05							d
SMVNGT06ABL	C@VN-GT06AB	1.00E-01	9.60E-02	-4.03%	7.06E-06	6.78E-06	6.78E-06	6.78E-06							d
SMVNGT10ABL	C@VN-GT10AB	1.00E-01	9.60E-02	-4.03%	7.06E-06	6.78E-06	6.38E-05	6.78E-06							d
KABMKA501ABG	R@BM-KAP01AB	7.50E-02	3.05E-02	-59.33%	3.29E-07	1.34E-07	4.25E-06	1.34E-07							h
KABMKA501ABL	S@BM-KAP01AB	7.50E-02	1.97E-02	-73.73%	3.70E-05	9.71E-06	4.83E-04	9.71E-06							d
KAH5KAH01ABHG	R@KAC01ABC	1.35E-02	7.41E-03	-45.11%	8.68E-07	4.76E-07	6.33E-05	1.98E-07	4.76E-07						h
KAH5KAH01ABHL	S@KAC01ABC	2.70E-02	3.12E-03	-88.44%	1.76E-04	2.03E-05	6.40E-03	4.63E-05	2.03E-05						d
KZBMJR501AG	R@BM-JRP01AB	7.50E-02	3.05E-02	-59.33%	4.15E-06	1.69E-06	5.37E-05	1.69E-06							h
KZBMJR501AL	S@BM-JRP01AB	7.50E-02	1.97E-02	-73.73%	4.55E-05	1.19E-05	5.94E-04	1.19E-05							d
KZFAGEUSEXG	R@GEUS04GEEX06	3.17E-02	3.05E-02	-3.79%	9.72E-08	9.36E-08	2.97E-06	9.36E-08							h
KZFAGEUSEXL	S@GEUS04GEEX06	3.85E-02	1.97E-02	-48.83%	1.63E-05	8.35E-06	4.16E-04	8.35E-06							d
KZKBKBAN12513L	F@KBAN125123	4.89E-03	1.41E-02	188.54%	1.18E-09	3.41E-09	2.30E-07	4.08E-09	3.41E-09						h



## **9. Análisis del impacto ambiental**

Toda actividad, bien sea industrial, informática o enfocada a la investigación, tiene asociados diversos elementos que pueden llegar a interactuar con el medio ambiente y, en menor o mayor grado, tener un posible impacto en el medio ambiente. A estos elementos se les llama aspectos ambientales.

Un impacto ambiental se define como cualquier cambio en el medio ambiente, tanto si es beneficioso como adverso. De este modo, existe una relación entre la actividad que se desarrolla, los aspectos ambientales, su posible impacto y el medio ambiente. Por ello, el estudio de impacto ambiental es un requisito cada vez que se realiza un proyecto. En la actualidad se considera este estudio de vital importancia ya que permite identificar los aspectos ambientales susceptibles de producir impacto ambiental i minimizarlos o, como mínimo, controlarlos.

### **9.1. Análisis de los aspectos ambientales y su impacto**

Este proyecto en cuestión ha sido realizado prácticamente en su totalidad por vía informática, por ello, el impacto ambiental estará directamente relacionado con el consumo eléctrico de los equipos empleados. Otro punto destacable de este proyecto son los desplazamientos que se han realizado a la Central Nuclear donde han tenido lugar las correspondientes reuniones de seguimiento del proyecto, por ello también deben contemplarse las emisiones de CO<sub>2</sub> del vehículo que han tenido lugar en estos desplazamientos.

El estudio se centra en aquellos aspectos que están presentes en unas condiciones normales de trabajo. Aun así, también hay aspectos ambientales que puede aparecer en incidentes o situaciones imprevistas. Cuando se produce un accidente pueden aparecer aspectos de carácter mucho más graves.

#### **a. Emisiones**

Las principales fuentes de emisiones son aquellas producidas en origen como consecuencia de la energía utilizada. Como en España la energía eléctrica puede provenir de diferentes tipos de producción se tiene en cuenta el mix energético del año 2018. La energía consumida durante el período de realización del proyecto es de 76,8 kWh (ver Tabla 9.1).

La mayoría de las emisiones se deben al uso de procesos de combustión en centrales térmicas o de ciclo combinado tal y como se muestra en la Figura 6.5. .

**Tabla 9.1.** Consumos eléctricos durante la realización del proyecto (Fuente: elaboración propia)

Concepto	Potencia Consumida (kW)	Horas de funcionamiento (h)	Energía consumida (kWh)
Ordenador	0,085	600	51
Pantalla	0,024	600	14,4
SAI	0,019	600	11,4
Total			76,8

**Tabla 9.2.** Emisiones provocadas por la generación de energía necesaria (Fuente: elaboración propia)

	Emisiones España	Total emisiones
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub>	0,246 kg/kWh	18,89 kg
Dióxido de Azufre SO <sub>2</sub>	0,194 g/kWh	14,90 g
Dióxido de Nitrógeno NO <sub>x</sub>	0,139 g/kWh	10,67 g

Por otro lado, se tienen en cuenta las emisiones generadas por el vehículo de gasolina en los desplazamientos a la Central Nuclear. En total se han realizado tres desplazamientos de una distancia de 286 km cada uno, lo que implica un total de 858 km recorridos. Las emisiones del vehículo son en promedio de 116 g CO<sub>2</sub>/km para vías interurbanas, según sus especificaciones técnicas, esto implica un total de 99,53 kg CO<sub>2</sub>/km.

**Tabla 9.3.** Emisiones totales de CO<sub>2</sub> durante la realización del proyecto (Fuente: elaboración propia)

Concepto	Emisiones CO <sub>2</sub>
Trabajo con ordenador	18,89 kg
Desplazamiento vehículo	99,53 kg
Total	118,42 kg

#### b. Residuos

La generación de residuos durante la realización del proyecto ha sido mínima. El consumo de papel se considera despreciable debido a que todos los documentos necesarios se han proporcionado en formato digital. Aun así, se consideran aquellos residuos potencialmente peligrosos generados durante la producción de energía utilizada provenientes del uso de combustibles de naturaleza radioactiva (Tabla A.1. ).

**Tabla 9.4.** Residuos provocados por la generación de energía (Fuente: elaboración propia)

	MIX España	Total residuos
Baja y media radioactividad	0,00251 cm <sup>3</sup> /kWh	0,19 cm <sup>3</sup>
Alta radioactividad	0,307 mg/kWh	23,58 mg



c. Vertidos

Los principales vertidos son los que provocan las aguas domésticas (grises y negras). En este caso no tiene un impacto significativo, pues son resultado de la estancia del trabajador en la instalación y son difícilmente minimizables. Aun así, siempre se recomienda un uso racional del agua y una política de reducción en su uso personal.

## **9.2. Conclusiones del estudio**

De los valores obtenidos se puede observar que el mayor impacto es el producido por el vehículo en los diferentes desplazamientos a la Central Nuclear, muy por encima del impacto producido por el consumo de energía eléctrica, segundo contribuyente mayoritario en el impacto ambiental del proyecto.

Para mitigar estos efectos debería utilizarse un vehículo de menor impacto ambiental, pero ante la indisponibilidad de este se opta por realizar la mayoría de las reuniones por vía telefónica o por videoconferencia, de este modo se reduce el número de viajes realizados a la Central.

En ningún caso estos resultados deben suponer un freno en el desarrollo de futuros de proyectos de este estilo.



## Conclusiones

El objetivo de este proyecto es identificar y valorar los cambios producidos en un modelo APS de una Central Nuclear en funcionamiento, tras una modificación en la metodología de cálculo de los fallos de causa común. Hasta el momento, el método de las MLG utilizado para el cálculo de los sucesos básicos de FCC en la CN ha funcionado de forma correcta, pero las exigencias sobre la realización de un APS más restrictivo han conducido a analizar otros métodos posibles y comprobar si los resultados obtenidos se corresponden en mayor o menor medida con los ya disponibles. En este proyecto se analiza el método del Factor Alfa como alternativa al modelo existente.

La nueva metodología propuesta por la CN para el análisis de los sucesos básicos de FCC se ha descrito a lo largo del presente informe. En primer lugar, deben examinarse los sucesos objeto de estudio e identificar el sistema al cual pertenecen por tal de entender su funcionamiento en la Planta. Una vez identificados los sucesos y creados los Grupos de FCC en el sistema, deben asignarse los parámetros Alfa por los que se rigen. Estos parámetros, diferentes a los asignados por el método de las MLG, son los que se utilizan en el cálculo de las probabilidades de los FCC.

Tras el estudio del modelo del Factor Alfa se comprueba que, a diferencia del método utilizado anteriormente, para cada Grupo de FCC definido se calculan todas las posibles combinaciones de fallo existentes entre los componentes que forman el Grupo de FCC. Por lo tanto, para cada suceso básico de FCC se obtiene no únicamente la probabilidad de fallo total, sino que también se obtienen las probabilidades de fallo de todas las combinaciones posibles. Este hecho se constata como una de las posibles causas del ligero aumento de la Frecuencia de Daño al Núcleo.

La FDN se ha visto aumentada en menos de un 1%, por lo tanto, se constata que el modelo no ha sufrido cambios relevantes en cuanto al resultado final de la simulación. Sin embargo, se debe tener en cuenta la variación en la probabilidad total de los sucesos básicos de FCC, que se ha visto reducida en más de un 80 % de los casos con la nueva metodología empleada, considerando únicamente la probabilidad de fallo total y no la de todas las combinaciones. Los casos en los que este valor no se ha visto reducido son debido a la utilización de valores genéricos como parámetros Alfa, o bien porque en el modelo antiguo han utilizado valores genéricos de las MLG muy optimistas.

Debe tenerse en cuenta que en la sucesión de eventos que llevan a daño al núcleo, aparece además del fallo de causa común, las distintas combinaciones de fallo del Grupo, como eventos básicos que forman parte de la EFDN, así como también el fallo independiente de dichos componentes, con su probabilidad calculada como un Evento de FCC. En el modelo de las MLG, la probabilidad de fallo independiente de los componentes que formaban parte de los sucesos básicos de FCC no se veía modificada, sino que mantenía el valor definido como probabilidad de fallo total en la lista de Eventos

Básicos. De modo que se observa que los fallos independientes de los componentes que forman parte de los sucesos básicos de FCC también modifican el valor de la simulación de la FDN.

Se ha podido demostrar con los resultados obtenidos que el método del Factor Alfa es todavía más restrictivo que el de las MLG usado hasta el momento. Aun así, la variación obtenida es mínima, por tanto, los resultados de este estudio permiten asegurar la seguridad actual de la Planta y ratificar el modelo de APS utilizado.

Los resultados obtenidos en este proyecto serán utilizados por la Central Nuclear para actualizar su modelo de APS.

## Presupuesto

Para la realización del proyecto se han calculado diferentes tipos de costes, que se clasifican a continuación:

- Coste informático

Este trabajo se ha realizado mediante ordenador en su totalidad, utilizando el programa *RiskSpectrum®*, por lo tanto, debe contemplarse el coste de la licencia de este programa. Además, se deben tener en cuenta también los costes de amortización del material informático utilizado.

El coste de la licencia del software utilizado es de 2600 € y se considera una vida útil de cinco años, teniendo en cuenta que si la Central Nuclear actualiza el programa será necesario actualizar la versión disponible también en el ordenador de trabajo. El software se ha utilizado durante 3 meses, ya que su uso es compartido con otro estudiante.

Para la amortización de los equipos informáticos se ha contemplado una vida útil de cinco años. En este caso se incluye un ordenador de sobremesa, con un precio total de 1500 € incluyendo la pantalla, y un SAI valorado en 70 €.

- Coste de personal

Se consideran en este caso los costes en concepto de recursos humanos. Los honorarios como ingeniera júnior son de 25 €/hora, considerando un total de 600 horas de trabajo equivalentes a 24 créditos del título de grado universitario, que corresponden al proyecto final de grado.

- Coste energético

Este tipo se refiere a los gastos de electricidad generados durante las horas trabajadas. A efectos de contabilización se considera un precio de 0,10 €/kWh eléctrico. (Fuente: Red Eléctrica de España).

- Coste de desplazamiento

Finalmente se considera el gasto por desplazamiento a la Central Nuclear. La distancia total recorrida en tres viajes de ida y vuelta es de 858 km. Suponiendo un consumo medio interurbano del vehículo de 4,3 litros cada 100 kilómetros recorridos y un precio de la gasolina de 1,41 €/litro se calcula el coste total del desplazamiento. A este importe se le debe sumar el valor de los peajes, que suponen un coste de 27 € por desplazamiento de ida y vuelta.

Por último, se le suma el coste de los impuestos (IVA del 21%) y el beneficio industrial (BI del 6 %).

El coste total del proyecto ha resultado de 21419,67 €, desglosados en los conceptos que se muestran en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Presupuesto total del proyecto (Fuente: elaboración propia)

Software	Concepto	Valor licencia (€)	Vida útil (meses)	Uso (meses)	Total amortizado
	RiskSpectrum®	2600	60	3	130
	Total				130 (1)
Coste personal	Concepto	Horas totales	Precio unitario		Total
	Ingeniero júnior	600	25		15000
	Total				15000 (2)
Consumo eléctrico	Concepto	Potencia (kW)	Horas funcionamiento	Preu (€/kWh)	Total
	Ordenador	0.085	600	0.1	5.1
	Pantalla	0.024	600	0.1	1.44
	SAI	0.019	600	0.1	1.14
	Total				7.68 (3)
Desplazamientos	Concepto	Consumo (L/100km)	Precio unitario (€/L)	km recorridos	Total
	Trayecto CN	4.3	1.41	858	52.02
	Peajes				81
	Total				133.02 (4)
TOTALES	Concepto				Total
	Coste total	(1)+(2)+(3)+(4)			15270.70 (5)
	Imprevistos	10% de (5)			1527.07 (6)
	Total AI	(5)+(6)			16797.77 (7)
	IVA	21% de (7)			3527.53 (8)
	BI	6% de (7)			1007.87 (9)
	Total DI	(7)+(8)+(9)			21333.17 (10)
Amortizaciones	Concepto	Precio compra (Sin IVA)	Vida útil (meses)	Uso (meses)	Valor amortizado
	Equipo + pantalla	1239.67	60	4	82.64
	SAI	57.85	60	4	3.86
	Total				86.50 (11)
Coste Proyecto total	(10)+(11)				21419.67

AI: Antes de Impuestos

DI: Después de Impuestos

## Bibliografía

- [1] Consejo de Seguridad Nuclear. “Instrucción IS-25, sobre criterios y requisitos sobre la realización de los análisis probabilistas de seguridad y sus aplicaciones a las centrales nucleares”. 9 de junio de 2010. Publicada en el BOE N.º 153 de 24 de junio de 2010.
- [2] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Procedures for treating Common-Cause Failures in Safety and Reliability Studies”, NUREG/CR – 4780, January 1988.
- [3] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1501 “Análisis de Fallos de Causa Común”. Rev. 9, septiembre de 2017.
- [4] Electric Power Research Institute (EPRI). “A Database of Common-Cause Events for Risk and Reliability Applications”, EPRI TR – 100382, June 1992.
- [5] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Common-Cause Failure Parameter Estimations”, NUREG/CR – 5497, October 1988.
- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Common-Cause Failure Database and Analysis System”, NUREG/CR – 6268, June 1988.
- [7] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Procedures for Analysis of Common-Cause Failures in Probabilistic Safety Analysis”, NUREG/CR – 5801, 1993.
- [8] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Analysis of Core Damage Frequency: Internal Events Methodology. Rev. 1.”, NUREG/CR – 4550. Vol. 2, January 1990.
- [9] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1301 “Base de Datos Genérica”. Rev. 7, septiembre de 2017.
- [10] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1306 “Tasas horarias y probabilidades de fallo en demanda para el cálculo de indisponibilidades de sucesos básicos”. Rev. 9, septiembre de 2017.
- [11] Central Nuclear. Informe de Actividad IA-APS-V “Estado de actualización del APS VR21 (2016)”. Rev. 0, septiembre de 2017.
- [12] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “CCF Parameter Estimations, 2015 Update”, October 2016.
- [13] Relcon AB. RiskSpectrum Analysis Tools - Theory Manual, 2003.

- [14] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Guidelines on Modeling Common-Cause Failures in Probabilistic Risk Assessment”, NUREG/CR – 5485, November 1998.
- [15] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “Probabilistic Risk Assessment and Regulatory Decisionmaking: Some Frequently Asked Questions”, NUREG/CR – 2201, September 2016.
- [16] U.S. Nuclear Regulatory Commission. “System and Component Descriptions, Boundaries, and Failure Modes”, October 2016.
- [17] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1201 “Sistema Esencial de Agua Enfriada (GJ)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [18] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1202 “Sistema de Agua de Alimentación Auxiliar (AL)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [19] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1203 “Sistema de Disparo del Reactor (QV)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [20] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1204 “Sistema de Distribución de Corriente Alterna (PB)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [21] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1208 “Sistema de Inyección de Seguridad de Alta Presión (BJ)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [22] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1210 “Sistema de Inyección de Baja Presión y Evacuación de Calor Residual (BC)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [23] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1211 “Sistema de Distribución de 125 Vcc (Clase 1E) y 118 Vca (Vital y Clase 1E) (PK)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [24] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1212 “Sistema de los Generadores Diésel de Emergencia (KJ)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [25] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1213 “Sistema de Alivio del Presionador (BB)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [26] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1214 “Sistema de Refrigeración de Componentes y enfriamiento del Edificio de Contención (EG)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [27] Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1216 “Sistema Aislamiento y Alivio de los Generadores de Vapor (AB)”. Rev. 7, diciembre de 2016.



- [28]** Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1219 “Alimentación Eléctrica no Clase y Generador Diésel Esencial (KZ)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [29]** Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1220 “Sistema de Aire Comprimido (KA)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [30]** Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1221 “Sistema de Agua de Salvaguardias Tecnológicas (EJ)”. Rev. 7, diciembre de 2016.
- [31]** Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1302 “Frecuencia de Sucesos Iniciadores”. Rev. 9, septiembre de 2017.
- [32]** Central Nuclear. Instrucción de Trabajo IT – 1305 “Estimación de Fallos, Demandas y Horas de Operación”. Rev. 9, septiembre de 2017.
- [33]** Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). “Evaluación del Análisis Probabilista de Seguridad de la central de Ascó”, 1999.
- [34]** International Atomic Energy Agency (IAEA). “Applications of probabilistic safety assessment (PSA) for nuclear power plants”, February 2001.
- [35]** O. Nusbaumer. “Introduction to Probabilistic Safety Assessments (PSA)”, 2001.
- [36]** Rupert A. Weston. “Treatment of Common Cause Failures in Support System Initiator Models”, 2008.
- [37]** Red Eléctrica de España (REE). Emisiones directas (t CO<sub>2</sub> equivalente), 2019. En: [en línea]. Disponible en <https://www.ree.es/es/conocenos/principales-indicadores/emisiones-directas-co2-equivalente>.
- [38]** Red Eléctrica de España (REE). Mercados y precios | Sistema de Información del Operador del Sistema (ESIOS). En: [en línea], 2019. Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/mercados-y-precios>.
- [39]** World Wildlife Fund (WWF). “Observatorio de la Electricidad mayo 2016”, mayo de 2016.
- [40]** Aplicación *RiskSpectrum*®, Rev. 2.10.02.

## Anexo A

El anexo A muestra los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas en el software *RiskSpectrum*®.

Debido a que el APS está enfocado a una instalación nuclear, la medida básica de riesgo es la frecuencia con que puede producirse daño al núcleo. Un APS de Nivel 1 consiste en el análisis del diseño y operación de la central nuclear para identificar las potenciales secuencias de accidentes que pueden dar lugar a daño en el núcleo del reactor y cambio de su geometría estructural, sus causas básicas y su frecuencia media anual.

Los Sucesos Iniciadores (SI) son aquellos eventos que generan una perturbación en la planta, dando lugar a una desviación de ciertos parámetros (presión, temperatura...), y que tienen potencial para desarrollar una secuencia accidental que pueda finalizar en daño al núcleo si la operación de los sistemas de mitigación de la planta no se realiza con éxito.

Los escenarios de accidente se definen teniendo en cuenta los Sucesos Iniciadores y los sistemas de seguridad que tratan su mitigación según la configuración de la planta. Los Árboles de Sucesos, delinean la progresión del accidente a partir de cada posible SI postulando el funcionamiento o no de cada función de seguridad que pueda intervenir en la mitigación de estos escenarios. La frecuencia de cada secuencia accidental se obtiene multiplicando la frecuencia del Suceso Iniciador por la probabilidad de la combinación de éxitos y fallos, de manera que la secuencia acabe en una exposición accidental.

### A1. Tarea de cuantificación

La tarea de cuantificación consiste en la obtención de los resultados del APS en términos de:

- Frecuencia de daño al núcleo de cada secuencia accidental y su conjunto, definida en los Árboles de Sucesos.
- Frecuencia y ecuación global de daño al núcleo de la Central Nuclear, sumando las contribuciones de todos los iniciadores.

La cuantificación para obtener la frecuencia de cada secuencia accidental se calcula mediante los conjuntos mínimos de fallos, denominado en inglés *Minimal Cut Sets* (MCS). Un MCS es una combinación mínima posible de fallos de equipos o errores humanos que debe ocurrir para que se produzca la consecuencia indeseada. Se dice que un conjunto de fallos es un conjunto mínimo si al retirar un solo suceso básico, el conjunto que queda, formado por los restantes fallos del conjunto,

deja de producir la consecuencia indeseada. En un APS se consideran los MCS como las combinaciones mínimas de sucesos básicos que junto con un suceso iniciador provocan daño al núcleo.

Expresada en una fórmula, la Frecuencia de Daño al Núcleo (FDN) se calcula según la siguiente expresión (Ec. A.1):

$$FDN \text{ (años}^{-1}\text{)} = \sum_i P(SI_i) \cdot \sum_j P(MCS_{ji}) \quad (\text{Ec. A.1})$$

La notación se define como:

- $P(SI_i)$ : frecuencia del suceso iniciador “i”.
- $P(MCS_{ji})$ : probabilidad del conjunto mínimo de fallos “j” que conducen a daño al núcleo para el suceso iniciador “i”.

Debido al gran número de conjuntos mínimos de fallo que pueden aparecer en la Ecuación de la Función de Daño al Núcleo (EFDN), en el proceso de obtención se truncan los conjuntos mínimos de fallo cuya probabilidad se encuentra por debajo de un cierto valor. En este caso, se utiliza un valor de truncación de 1E-10/año.

## A2. Análisis de Sensibilidad de Resultados

Una vez determinada la frecuencia anual de daño al núcleo de la CN, se procede a realizar el análisis de los resultados. Dentro de los posibles tipos de análisis (Importancia, Sensibilidad e Incertidumbre), se realiza en este caso un Análisis de Sensibilidad. El Análisis de Sensibilidad se realiza sobre la Ecuación de la Función de Daño al Núcleo con el objetivo de evaluar el impacto en los resultados del APS debido a la variación de la probabilidad de un suceso o de una hipótesis de modelación.

En este caso, el análisis de sensibilidad se realiza con el objetivo de evaluar el impacto en los resultados del APS debido al cambio de metodología con parámetros Alfa en el cálculo de Fallos de Causa Común (FCC).

### A.2.1. Conjuntos Mínimos de Fallo de la EFDN en el modelo de las MLG

Se obtienen un total de 7242 Eventos Básicos guardados y que forman los MCS. La Tabla 1 muestra los 120 primeros conjuntos mínimos de fallo que constituyen la EFDN en el modelo de las MLG.

**Tabla A.1.** Conjuntos mínimos de fallo de la EFDN con parámetros de las MLG (Fuente: RiskSpectrum®)

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
1	4,78E-07	5,79	T2	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
2	3,60E-07	4,36	T18	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
3	1,61E-07	1,95	RV					
4	9,82E-08	1,19	T8	ALVHAL05H2	15EFEDYBLHMBD			
5	8,72E-08	1,06	S1	BJREHIRHULAHH1				
6	8,27E-08	1	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGVMEG31KM	15EDISBRR3H1		
7	7,09E-08	0,86	T16	5KBHKHDV1251F				
8	7,00E-08	0,85	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR3H1		
9	6,91E-08	0,84	T15	5KBHKHDV1253F				
10	5,97E-08	0,72	T10	BHIA526A8H	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
11	5,97E-08	0,72	T10	BXXXLEAK1FF3X	EJIAA5212A2H	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
12	5,97E-08	0,72	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGIAA5221H	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
13	4,93E-08	0,6	V					
14	4,62E-08	0,56	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	15EDISBRR3H1	5KBHKHDV1256M	
15	4,37E-08	0,53	T10	BHBMBSH01AR	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
16	4,32E-08	0,52	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAMHAA216AY	
17	4,24E-08	0,51	T10	BHVMBSH01AH	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
18	4,14E-08	0,5	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGVMEG31KM	15EDISBRR2H1		
19	4,13E-08	0,5	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMHGM550025	EGIAA5221H	15EDISBRR3H1	
20	3,94E-08	0,48	T2A	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
21	3,94E-08	0,48	T4	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
22	3,88E-08	0,47	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAHS151TRENAS	
23	3,69E-08	0,45	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	EJTRENAM	15EDISBRR3H1	
24	3,62E-08	0,44	RT	15EREFDESRT1H1	15EREFRRHRM1D			
25	3,50E-08	0,42	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR2H1		
26	3,47E-08	0,42	T1	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
27	3,28E-08	0,4	T16	ALT5HTRLVELHA	KJGDAGDAR	5BXX5SS220X	5BXXSINTAETAUX	
28	3,24E-08	0,39	T10	BHBMBSH01AM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
29	3,23E-08	0,39	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR3H1	
30	2,99E-08	0,36	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGIAA5221H	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
31	2,99E-08	0,36	T10	BHIA526A8H	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
32	2,99E-08	0,36	T10	BXXXLEAK1FF2X	EJIAA5212A2H	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
33	2,96E-08	0,36	T4	ALVVA51401	15EFEDYBLH2			
34	2,74E-08	0,33	T2	ALVHAL05H1	BJREHIRHULAHH2			
35	2,61E-08	0,32	T1	ALVVA51401	15EFEDYBLH2			
36	2,36E-08	0,29	T10	BXXXLEAK1FF3X	KJGDAGDAR	15EDISBRR3H1	5BXX5SS220X	5BXXSINTAETAUX
37	2,31E-08	0,28	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	15EDISBRR2H1	5KBHKHDV1256M	
38	2,19E-08	0,27	T10	BHBMBSH01AR	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
39	2,16E-08	0,26	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	SAMHAA216AY	
40	2,14E-08	0,26	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	5KBHKHDV1256M	

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
41	2,12E-08	0,26	T10	BHVMBN01AH	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
42	2,07E-08	0,25	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGBMHGM550025	EGIAA5221H	15EDISBRR2H1	
43	2,07E-08	0,25	T18	ALVHAL05H1	BJREHIRHULAAH2			
44	1,94E-08	0,24	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	SAHS151TRENA5	
45	1,93E-08	0,23	T8	BJREHIRHULAAH2	15EDISINYH6	15E51RVISHTD		
46	1,90E-08	0,23	T14	BXXXLEAK1FF2X	EGVMEG31KM	15EDISBRR2H2		
47	1,88E-08	0,23	T16	ALA51Y1HA	EGBMGNA51Y1HA	SAHS151TRENA5		
48	1,88E-08	0,23	T16	ALA51Y1HA	EJBMVMA51Y1HA	SAHS151TRENA5		
49	1,85E-08	0,22	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	EJTRENAM	15EDISBRR2H1	
50	1,83E-08	0,22	S2	BHXXREHIRTAAARAX				
51	1,83E-08	0,22	S2	BHXXREHIRTAAARBX				
52	1,82E-08	0,22	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMEG501L	15EDISBRR3H1		
53	1,81E-08	0,22	T16	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
54	1,79E-08	0,22	T17	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
55	1,77E-08	0,21	T15	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
56	1,72E-08	0,21	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMEG501HM	EGIAA5221H	15EDISBRR3H1	
57	1,71E-08	0,21	T10	BXXXLEAK1FF3X	EJTRENAM	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
58	1,66E-08	0,2	T15	ALA51Y1HA	EJBMVMA51Y1HA	SAHS151TRENB5		
59	1,66E-08	0,2	T15	ALA51Y1HA	EGBMGNA51Y1HA	SAHS151TRENB5		
60	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVAX	15EFEDYBLH2		
61	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVHX	15EFEDYBLH2		
62	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVBX	15EFEDYBLH2		
63	1,62E-08	0,2	T10	BHBM BH501AM	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
64	1,62E-08	0,2	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR2H1	
65	1,60E-08	0,19	T14	BXXXLEAK1FF2X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR2H2		
66	1,60E-08	0,19	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SAB5600AF		
67	1,58E-08	0,19	T2	ALVHAL05H1	BBALIVMANH1			
68	1,58E-08	0,19	T14	BXXXLEAK1FF3X	EGVMEG31KM	15EDISBRR3H2		
69	1,56E-08	0,19	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SAB5600BF		
70	1,56E-08	0,19	T10	BHBM BH501AS	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
71	1,55E-08	0,19	A2	BKVXB006B				
72	1,55E-08	0,19	A2	BKVXA003B				
73	1,52E-08	0,18	T10	BHVMBK04AM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
74	1,51E-08	0,18	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SAREAK721T		
75	1,51E-08	0,18	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SARE5Y600HT		
76	1,51E-08	0,18	T10	BHVMBN01AHIM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
77	1,50E-08	0,18	T10	BXXXLEAK1FF3X	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
78	1,48E-08	0,18	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SAREBK721T		
79	1,48E-08	0,18	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SARE5Y600DT		
80	1,43E-08	0,17	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SAB5600AF

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
81	1,38E-08	0,17	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGRBAR1EG002F	15EDISBRR3H1		
82	1,37E-08	0,17	T16	ALVHAL05H1	SAB5600AF			
83	1,35E-08	0,16	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SARE5Y600HT
84	1,35E-08	0,16	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SAREAK721T
85	1,33E-08	0,16	T15	ALVHAL05H1	SAB5600BF			
86	1,33E-08	0,16	T14	BXXXLEAK1FF3X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR3H2		
87	1,29E-08	0,16	T16	ALVHAL05H1	SAREAK721T			
88	1,29E-08	0,16	T16	ALVHAL05H1	SARE5Y600HT			
89	1,28E-08	0,16	T10	BXXXLEAK1FF1X	EGVMEG31KM	15EDISBRR1H1		
90	1,26E-08	0,15	T15	ALVHAL05H1	SAREBK721T			
91	1,26E-08	0,15	T15	ALVHAL05H1	SARE5Y600DT			
92	1,19E-08	0,14	T18	ALVHAL05H1	BBALIVMANH1			
93	1,19E-08	0,14	T16	ALT5HTRLVELHA	KJGDAGDAR	5BXX220X		
94	1,18E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF2X	KJGDAGDAR	15EDISBRR2H1	5BXX5SS220X	5BXXSINTAETAUX
95	1,18E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SAB5600AF
96	1,18E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SAB5600AF
97	1,13E-08	0,14	T16	ALT5HTRLVELHA	5KHKR1HV12511F	5KHKR2HV1251EF		
98	1,13E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF
99	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403B1T
100	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403B2T
101	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SARE5Y600HT
102	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403A2T
103	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SAREAK721T
104	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SARE5Y600HT
105	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SAREAK721T
106	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SAREFS602A1T
107	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403A1T
108	1,10E-08	0,13	T15	ALT5HTRLVELHA	5KHKR1HV12531F	5KHKR2HV1253EF		
109	1,09E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF1X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR1H1		
110	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	5KBHKHDV1256M	
111	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T
112	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SARE5Y600HT
113	1,06E-08	0,13	T14	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	15EDISBRR2H2	5KBHKHDV1256M	
114	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARE5S403A2T	SARE5Y600HT
115	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SAREFS602A1T
116	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SARE5S403A2T
117	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARE5S403A1T	SARE5Y600HT
118	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SARE5S403A1T
119	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARE5S403B1T	SARE5Y600HT
120	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARE5S403B2T	SARE5Y600HT

### A.2.2. Contribución a la FDN de los SI en el modelo de las MLG

La frecuencia de un Sucesos Iniciador obtenida en la simulación se calcula como el sumatorio de las probabilidades de ocurrencia de todos los conjuntos mínimos de fallo que lleven a dañar el núcleo y que empiecen por ese mismo Suceso Iniciador. El valor de esta frecuencia debe diferenciarse del valor de la Frecuencia de ocurrencia ( $F_o$ ), que se calcula tal y como se expresa en el capítulo 2.5.1. "Frecuencia de Sucesos Iniciadores" y que ya viene determinada en el modelo proporcionado por la CN. La Frecuencia de ocurrencia no cambia en función de la metodología empleada en el cálculo de los FCC.

La Tabla 2 presenta los iniciadores ordenados según su contribución a la FDN para el modelo de las MLG. Además de su Frecuencia de ocurrencia, también se indica su Probabilidad Condicionada de Daño al Núcleo (PCDN), calculada como el cociente entre la FDN y la  $F_o$  de cada Suceso Iniciador.

**Tabla A.2.** Sucesos Iniciadores por su contribución a la FDN para el método de MLG (Fuente: IA-APS-V-2007)

Suceso Iniciador	$F_o$	PCDN	FDN	MCS	%
T10	1,99E-03	1,47E-03	2,93E-06	1738	35,53%
T2	4,21E-01	2,24E-06	9,44E-07	678	11,44%
T16	1,60E-02	4,64E-05	7,41E-07	827	8,99%
T18	3,17E-01	2,27E-06	7,19E-07	622	8,72%
T15	1,56E-02	4,39E-05	6,83E-07	791	8,29%
T14	1,70E-03	3,32E-04	5,65E-07	661	6,85%
T1	3,06E-02	7,54E-06	2,31E-07	505	2,80%
T8	3,47E-02	6,17E-06	2,14E-07	174	2,60%
S2	3,65E-04	5,00E-04	1,82E-07	477	2,21%
RV	1,61E-07	1,00E+00	1,61E-07	1	1,95%
S1	1,16E-05	1,38E-02	1,60E-07	98	1,94%
T4	3,47E-02	4,12E-06	1,43E-07	154	1,73%
T7	5,98E-04	2,21E-04	1,32E-07	134	1,60%
RT	2,30E-04	3,98E-04	9,15E-08	58	1,11%
T2A	3,47E-02	1,86E-06	6,47E-08	76	0,78%
T6	2,99E-04	2,07E-04	6,20E-08	68	0,75%
A2	2,35E-05	2,34E-03	5,49E-08	23	0,67%
V	4,93E-08	1,00E+00	4,93E-08	1	0,60%
T5	1,79E-03	2,21E-05	3,96E-08	39	0,48%
S3	4,19E-04	8,00E-05	3,35E-08	35	0,41%
T17	1,58E-02	1,86E-06	2,94E-08	54	0,36%
A1	2,55E-06	6,39E-03	1,63E-08	28	0,20%

### A.2.3. Conjuntos Mínimos de Fallo de la EFDN en el modelo del Factor Alfa

Se obtienen un total de 7585 Eventos Básicos guardados y que forman los MCS. La Tabla 3 muestra los 120 primeros conjuntos mínimos de fallo que constituyen la EFDN en el modelo del Factor Alfa.

**Tabla A.3.** Conjuntos mínimos de fallo de la EFDN con parámetros de las MLG (Fuente: RiskSpectrum®)

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
1	4,78E-07	5,75	T2	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
2	3,60E-07	4,33	T18	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
3	1,61E-07	1,94	RV					
4	9,82E-08	1,18	T8	ALVHAL05H2	15EFEDYBLHMBD			
5	8,72E-08	1,05	S1	BJREHIRHULAHH1				
6	8,27E-08	1	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGVMEG31KM	15EDISBRR3H1		
7	7,23E-08	0,87	T10	BHBMBSH01AS	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
8	7,09E-08	0,85	T16	5KBHKKHDV1251F				
9	7,00E-08	0,84	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR3H1		
10	6,91E-08	0,83	T15	5KBHKKHDV1253F				
11	6,56E-08	0,79	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMEG501AS	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
12	4,93E-08	0,59	V					
13	4,62E-08	0,56	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	15EDISBRR3H1	5KBHKKHDV1256M	
14	4,54E-08	0,55	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMHGM550025	EGBMEG501AS	15EDISBRR3H1	
15	4,32E-08	0,52	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAMHAA216AY	
16	4,20E-08	0,5	T10	BHVMBN01AH	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
17	4,14E-08	0,5	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGVMEG31KM	15EDISBRR2H1		
18	4,14E-08	0,5	T10	BHBMBSH01AR	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
19	3,94E-08	0,47	T4	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
20	3,94E-08	0,47	T2A	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
21	3,88E-08	0,47	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAHS151TRENAS	
22	3,69E-08	0,44	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	EJTRENAM	15EDISBRR3H1	
23	3,62E-08	0,44	RT	15EREFDES1TH1	15EREFRRH1M1D			
24	3,62E-08	0,44	T10	BHBMBSH01AS	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
25	3,50E-08	0,42	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR2H1		
26	3,47E-08	0,42	T1	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
27	3,29E-08	0,4	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGBMEG501AS	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
28	3,24E-08	0,39	T10	BHBMBSH01AM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
29	3,23E-08	0,39	T16	ALT5HTRLVELHA	KJGDAGDAR	5BXX5SS220X	5BXXSINTAETAUX	
30	3,16E-08	0,38	T10	BXXXLEAK1FF3X	EFTRENAM	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR3H1	
31	2,96E-08	0,36	T4	ALVVA51401	15EFEDYBLH2			
32	2,90E-08	0,35	S2	S©BCP01AB-ALL				
33	2,74E-08	0,33	T2	ALVHAL05H1	BJREHIRHULAHH2			
34	2,61E-08	0,31	T1	ALVVA51401	15EFEDYBLH2			



Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
35	2,40E-08	0,29	S2	R©BCP01AB-ALL				
36	2,32E-08	0,28	T10	BXXXLEAK1FF3X	KJGDAGDAR	15EDISBRR3H1	5BXX5SS220X	SBXXSINTAETAUX
37	2,31E-08	0,28	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	15EDISBRR2H1	5KBHKHDV1256M	
38	2,27E-08	0,27	T10	BXXXLEAK1FF2X	EGBMHGM550025	EGBMEG501AS	15EDISBRR2H1	
39	2,16E-08	0,26	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	SAMHAA216AY	
40	2,14E-08	0,26	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	5KBHKHDV1256M	
41	2,10E-08	0,25	T10	BHVMBN01AH	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
42	2,07E-08	0,25	T10	BHBMBH501AR	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
43	2,07E-08	0,25	T18	ALVHAL05H1	BJREHIRHULAAH2			
44	1,94E-08	0,23	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	SAHS151TRENA5	
45	1,93E-08	0,23	T8	BJREHIRHULAAH2	15EDISINYH6	15E51RVISHTD		
46	1,90E-08	0,23	T14	BXXXLEAK1FF2X	EGVMEG31KM	15EDISBRR2H2		
47	1,89E-08	0,23	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGBMEG501AS	EGBMEG501HM	15EDISBRR3H1	
48	1,88E-08	0,23	T16	ALA51Y1HA	EJBMVMA51Y1HA	SAHS151TRENA5		
49	1,88E-08	0,23	T16	ALA51Y1HA	EGBMGNA51Y1HA	SAHS151TRENA5		
50	1,85E-08	0,22	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	EJTRENAM	15EDISBRR2H1	
51	1,83E-08	0,22	S2	BHXXREHIRTAAARAX				
52	1,83E-08	0,22	S2	BHXXREHIRTAAARBX				
53	1,81E-08	0,22	T16	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
54	1,79E-08	0,22	T17	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
55	1,77E-08	0,21	T15	ALVHAL05H1	15EFEDYBLHMBD			
56	1,71E-08	0,21	T10	BXXXLEAK1FF3X	EJTRENAM	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
57	1,66E-08	0,2	T15	ALA51Y1HA	EJBMVMA51Y1HA	SAHS151TREN5		
58	1,66E-08	0,2	T15	ALA51Y1HA	EGBMGNA51Y1HA	SAHS151TREN5		
59	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVAX	15EFEDYBLH2		
60	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVBX	15EFEDYBLH2		
61	1,65E-08	0,2	T7	ABVHAL05AISH1	ABXXR1TURGVHX	15EFEDYBLH2		
62	1,62E-08	0,2	T10	BHBMBH501AM	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	
63	1,60E-08	0,19	T14	BXXXLEAK1FF2X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR2H2		
64	1,58E-08	0,19	T10	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR2H1	
65	1,58E-08	0,19	T2	ALVHAL05H1	BBALIVMANH1			
66	1,58E-08	0,19	T14	BXXXLEAK1FF3X	EGVMEG31KM	15EDISBRR3H2		
67	1,56E-08	0,19	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SAB5600AF		
68	1,55E-08	0,19	A2	BKVXA003B				
69	1,55E-08	0,19	A2	BKVXB006B				
70	1,52E-08	0,18	T10	BHVMBK04AM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
71	1,52E-08	0,18	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SAB5600BF		
72	1,51E-08	0,18	T10	BHVMBN01AHIM	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	
73	1,47E-08	0,18	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SARE5Y600HT		
74	1,47E-08	0,18	T16	ALBMAL501AR	ALT5AL502S	SAREAK721T		
75	1,47E-08	0,18	T10	BXXXLEAK1FF3X	EJFAGAEX03AS	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
76	1,44E-08	0,17	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SARE5Y600DT		
77	1,44E-08	0,17	T15	ALBMAL501BR	ALT5AL502S	SAREBK721T		
78	1,43E-08	0,17	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SAB5600AF
79	1,38E-08	0,17	T10	BXXXLEAK1FF3X	EGRBAR1EG002F	15EDISBRR3H1		
80	1,37E-08	0,16	T16	ALVHAL05H1	SAB5600AF			
81	1,35E-08	0,16	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SAREAK721T
82	1,35E-08	0,16	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SABF602AF	SARE5Y600HT
83	1,33E-08	0,16	T15	ALVHAL05H1	SAB5600BF			
84	1,33E-08	0,16	T14	BXXXLEAK1FF3X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR3H2		
85	1,29E-08	0,16	T16	ALVHAL05H1	SARE5Y600HT			
86	1,29E-08	0,16	T16	ALVHAL05H1	SAREAK721T			
87	1,28E-08	0,15	T10	BXXXLEAK1FF1X	EGVMEG31KM	15EDISBRR1H1		
88	1,26E-08	0,15	T15	ALVHAL05H1	SAREBK721T			
89	1,26E-08	0,15	T15	ALVHAL05H1	SARE5Y600DT			
90	1,19E-08	0,14	T18	ALVHAL05H1	BBALIVMANH1			
91	1,18E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SAB5600AF
92	1,18E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SAB5600AF
93	1,17E-08	0,14	T16	ALT5HTRLVELHA	KJGDAGDAR	5BXX220X		
94	1,16E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF2X	KJGDAGDAR	15EDISBRR2H1	5BXX5SS220X	5BXXSINTAETAUX
95	1,13E-08	0,14	T16	ALT5HTRLVELHA	5KHKR1HV12511F	5KHKR2HV1251EF		
96	1,13E-08	0,14	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF
97	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SAREAK721T
98	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403A1T
99	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403B2T
100	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403B1T
101	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SAREAK721T
102	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403AF	SARE5Y600HT
103	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SAREFS602A1T
104	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5403BF	SARE5Y600HT
105	1,11E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAB5600AF	SARE5S403A2T
106	1,10E-08	0,13	T15	ALT5HTRLVELHA	5KHKR1HV12531F	5KHKR2HV1253EF		
107	1,09E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF1X	EGHSEGS2AF	15EDISBRR1H1		
108	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF2X	15EDISBRR2H1	15EMANBRR2H1	5KBHKHDV1256M	
109	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T
110	1,07E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EDISINYH1	15EMANBRR3H1	SARE5Y600HT
111	1,06E-08	0,13	T14	BXXXLEAK1FF2X	EFTRENAM	15EDISBRR2H2	5KBHKHDV1256M	
112	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SARE5S403B1T
113	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREFS602A1T	SARE5Y600HT
114	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARE5S403B2T	SARE5Y600HT
115	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SARE5S403B2T

Nº	FDN/año	%	Iniciador	Evento2	Evento3	Evento4	Evento5	Evento6
116	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARESS403A1T	SARE5Y600HT
117	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARESS403B1T	SARE5Y600HT
118	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SARESS403A1T
119	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SARESS403A2T	SARE5Y600HT
120	1,05E-08	0,13	T10	BXXXLEAK1FF3X	15EDISBRR3H1	15EMANBRR3H1	SAREAK721T	SAREFS602A1T

#### A.2.4. Contribución a la FDN de los SI en el modelo del Factor Alfa

La Tabla 4 presenta los iniciadores ordenados según su contribución a la FDN para el modelo del Factor Alfa. Además de su Frecuencia de ocurrencia, también se indica su Probabilidad Condicionada de Daño al Núcleo (PCDN), calculada como el cociente entre la FDN y la Fo de cada Suceso Iniciador.

**Tabla A.4.** Sucesos Iniciadores por su contribución a la FDN para el método de MLG (Fuente: elaboración propia)

Suceso Iniciador	Fo	PCDN	FDN	MCS	%
T10	1,99E-03	1,43E-03	2,84E-06	1751	34,18%
T2	4,21E-01	2,35E-06	9,89E-07	757	11,90%
T16	1,60E-02	4,49E-05	7,18E-07	768	8,64%
T15	1,56E-02	4,65E-05	7,26E-07	842	8,74%
T18	3,17E-01	2,39E-06	7,58E-07	732	9,12%
T14	1,70E-03	3,36E-04	5,72E-07	699	6,88%
T8	3,47E-02	6,14E-06	2,13E-07	155	2,56%
T1	3,06E-02	8,63E-06	2,64E-07	619	3,18%
RV	1,61E-07	1,00E+00	1,61E-07	1	1,94%
S1	1,16E-05	1,39E-02	1,61E-07	101	1,94%
S2	3,65E-04	5,86E-04	2,14E-07	458	2,58%
T4	3,47E-02	4,15E-06	1,44E-07	167	1,73%
T7	5,98E-04	2,19E-04	1,31E-07	131	1,58%
RT	2,30E-04	3,75E-04	8,63E-08	118	1,04%
T6	2,99E-04	2,06E-04	6,15E-08	71	0,74%
T2A	3,47E-02	1,88E-06	6,51E-08	90	0,78%
A2	2,35E-05	2,40E-03	5,65E-08	19	0,68%
V	4,93E-08	1,00E+00	4,93E-08	1	0,59%
T5	1,79E-03	1,95E-05	3,49E-08	41	0,42%
T17	1,58E-02	1,85E-06	2,92E-08	54	0,35%
A1	2,55E-06	6,63E-03	1,69E-08	32	0,20%
S3	4,19E-04	4,15E-05	1,74E-08	41	0,21%

### A.3. Análisis de Importancia de los Resultados

La Ecuación de la Función de Daño al Núcleo proporciona una información muy valiosa sobre el diseño de la planta, ya que identifica las posibles combinaciones del suceso iniciador y fallos de sistemas o errores humanos que llevan a la fusión del núcleo. Cada una de estas combinaciones tiene una probabilidad de ocurrencia, pero un mismo componente puede intervenir en muchas de esas combinaciones (ver Tabla A.1. y Tabla A.3.). Por ello, se definen distintas medidas de importancia para clasificar los sucesos básicos. La medida de importancia en la cual se basa este análisis se denomina *Fussel-Vesely* (FV).

- *Fussel-Vesely* (FV): Contribución fraccional a los resultados del APS de un suceso básico específico para todas las secuencias de accidente que contienen este suceso básico. Esta medida adopta valores de cero hasta la unidad (Ec. A.2).

$$FV^X = \frac{FDN_{base} - FDN_o^X}{FDN_{base}} \quad (\text{Ec. A.2})$$

La notación se define como:

- $FDN_{base}$ : FDN de referencia en el modelo considerado.
- $FDN_o^X$ : FDN para el modelo considerado cuando la probabilidad de fallo del componente (suceso básico  $X$ ) se fija a cero, es decir, no se considera su fallo.

La Tabla 5 muestra la posición que ocupan ahora los FCC en comparación a la que ocupaban antes en la lista de Eventos Básicos de mayor influencia en el cálculo de la FDN. Para hacer la comparación con el modelo del Factor Alfa se ha considerado únicamente el fallo total del Grupo de FCC. Se observa que, si el valor del FV aumenta, el suceso de FCC tendrá una mayor importancia en el cálculo de la FDN, de manera que ocupa una posición superior a la que ocupaba antes.

**Tabla A.5.** Análisis de importancia de los Sucesos Básicos de FCC (Fuente: elaboración propia)

Posición Alfa	ID Alfa	FV Alfa	FV MLG	ID MLG	Posición MLG	Cambio Posición	Variación
38	F@PCV-AB01ABC	2,52E-02	1,00E-02	ABVHH1NAB01L	77	39	152%
97	C@VM-BG22CE	8,31E-03	7,24E-03	BJVMBG22HEL	98	1	15%
108	S@BCP01AB	6,32E-03	7,94E-04	BHBMBH501ABL	264	156	696%
111	O@VM-BG22BD	5,61E-03	5,64E-03	BJVMA5BG22BDL	109	-2	-1%
113	R@BCP01AB	5,17E-03	2,36E-04	BHBMBH501ABG	394	281	2091%
119	R@BM-ALP01AB	4,57E-03	8,55E-03	ALBMAL501ABG	93	-26	-47%
124	C@VM-BG15ABC16	4,25E-03	1,57E-03	BJVMH15ABH16L	197	73	171%
132	S@GA-EX03AB	3,70E-03	5,41E-03	EJFAGAEX03L	112	-20	-32%
144	O@VM-BJ0203AB	3,50E-03	1,04E-03	BJVMA5BJ3AB2L	232	88	237%
152	C@VN-EG26AB	2,83E-03	2,13E-03	EGVN26ABL	167	15	33%
182	C@VN-BG5354	1,99E-03	1,27E-03	BJVNBG5354L	216	34	57%
212	R@GD-AB	1,36E-03	1,14E-03	KJGDAGDBG	226	14	19%
225	S@EJP01ABCD	1,14E-03	6,78E-03	EJBMEJ501L	103	-122	-83%
252	R@GA-EX03AB	8,53E-04	6,17E-04	EJFAGAEX03G	290	38	38%
256	C@VM-BN01AB	8,33E-04	1,26E-03	BHVMBN001ABL	217	-39	-34%
266	S@BM-ALP01AB	8,04E-04	6,93E-03	ALBMAL501ABL	100	-166	-88%
295	S@EGP01ABCD	6,62E-04	4,13E-03	EGBMEG501L	120	-175	-84%
311	R@EGP01ABCD	5,27E-04	9,18E-05	EGBMEG501G	505	194	474%
322	R@BGP01ABC	4,54E-04	1,03E-03	BJBM1501ABHG	236	-86	-56%
334	R@EJUV01020304AB	4,34E-04	1,82E-03	EJFAEJUVG	189	-145	-76%
389	O@VSB0607	2,64E-04	2,35E-03	BBVAAVSBB067L	157	-232	-89%
469	O@VM-BC04AB	1,61E-04	3,23E-04	BJVMA5BH04ABL	357	-112	-50%
521	C@VM-BG24AB25AB	9,35E-05	4,95E-05	BJVMBG2425ABL	561	40	89%
563	F@KBAV1251234567	5,82E-05	1,67E-04	5KKBAV125A7HL	454	-109	-65%
715	C@VH-AB26ABC	1,70E-05	2,22E-05	ABVHAB26L	651	-64	-23%
777	R@EJP01ABCD	1,27E-05	3,19E-05	EJBMEJ501G	627	-150	-60%
794	O@526A47A17	1,21E-05	-	5BIA6A47A17L	No aparece	-	-
808	S@KJP4243AB	0,00E+00	0,00E+00	KJBM54243ABL	1453	645	=
810	S@KJP4041AB	0,00E+00	0,00E+00	KJBM54041ABL	1455	645	=
814	S@KAC01ABC	0,00E+00	0,00E+00	KAH5KAH01ABHL	1393	579	=
817	R@GEUS04GEEX06	0,00E+00	0,00E+00	KZFAGEUSEXG	1343	526	=
832	R@KJP4041AB	0,00E+00	0,00E+00	KJBM54041ABG	1460	628	=
834	R@KAC01ABC	0,00E+00	0,00E+00	KAH5KAH01ABHG	1394	560	=
843	S@BGP01ABC	0,00E+00	-	BJBMA501ABHL	No aparece	-	-
848	R@KJP4243AB	0,00E+00	0,00E+00	KJBM54243ABG	1454	606	=
851	S@GD-AB	0,00E+00	0,00E+00	KJGDAGDBL	1448	597	=
890	O@VMBK3AB4AB14AB	0,00E+00	3,52E-05	BKVMA040314L	619	-271	-100%
909	C@VM-BC01AB	0,00E+00	0,00E+00	BHVMBH01ABL	1190	281	=
910	C@VM-AB03ABC	0,00E+00	0,00E+00	ABVMA03L	1119	209	=
927	O@52RTAB	0,00E+00	3,50E-05	QVIDINTDIS5L	620	-307	-100%

Posición Alfa	ID Alfa	FV Alfa	FV MLG	ID MLG	Posición MLG	Cambio Posición	Variación
929	O©BB0252627	0,00E+00	0,00E+00	BBVSABB02567L	1175	246	=
930	O©VM-AB25AC	0,00E+00	-	ALVMAB25AHL	No aparece	-	-
No aparece	S©EJUV01020304AB	-	3,41E-03	EJFAEJUVL	138	-	-
No aparece	O©HCVL05ABCDEF	-	1,36E-03	ALVHAL05L	212	-	-
No aparece	D©UV-52/RTAB	-	7,39E-05	QVBX4RELESL	523	-	-
No aparece	C©VM-BC05AB6AB	-	7,35E-05	BHVM0506ABHL	524	-	-
No aparece	C©526A49527A1017	-	4,16E-05	5BIA52TAETAUL	591	-	-
No aparece	C©VN-BM03ABC	-	0,00E+00	ALVNBMO3ABHL	1199	-	-
No aparece	S©BM-JRP01AB	-	0,00E+00	KZBMJR501AL	1252	-	-
No aparece	S©GEUS04GEEX06	-	0,00E+00	KZFAGEUSEXL	1342	-	-
No aparece	S©BM-KAP01AB	-	0,00E+00	KABMKA501ABL	1396	-	-
No aparece	S©KJUVA12/S©KJUVB12	-	0,00E+00	KJFAUVAYBL	1445	-	-
No aparece	R©BM-JRP01AB	-	0,00E+00	KZBMJR501AG	1257	-	-
No aparece	R©BM-KAP01AB	-	0,00E+00	KABMKA501ABG	1401	-	-
No aparece	R©KJUVA12/R©KJUVB12	-	0,00E+00	KJFAUVAYBG	1446	-	-